



TITLE:

博士論文概要

AUTHOR(S):

CITATION:

博士論文概要. Cue 2004, 14: 38-74

ISSUE DATE:

2004-12

URL:

<https://doi.org/10.14989/57878>

RIGHT:

博士論文概要

【課程博士一覧】

黒川 悟	「超広帯域パルスを用いた時間領域空間計測法と小型プリント基板電磁界センサの開発」	平成15年11月25日
佐藤 宣夫	「PZT 薄膜カンチレバーを用いた多機能走査プローブ顕微鏡の開発およびその応用に関する研究」	平成16年1月23日
伊藤 浩	「計算論的初期視覚モデルに基づく符号化画像の画質評価法と符号化のための解像度制御法」	平成16年1月23日
米本 明弘	「Study on Numerical Laplace Transforms and Their Applications to Analysis of Transmission Lines」	平成16年3月23日
田口 秀文	「2自由度PID制御系の調整法に関する研究」	平成16年3月23日
立松 明芳	「数値電界計算法の高度化と帯電電荷測定法への応用」	平成16年3月23日
韓 相逸	「Basic Studies on Optimal Design of Superconducting Synchronous Machines」 (超伝導同期機の最適設計に関する基礎的研究)	平成16年3月23日
Khosru Mohammad Salim	「Studies on Rectifier Type Superconducting Fault Current Limiters Using Variable Reactor」 (可変リアクトルを用いた整流型超伝導限流器に関する研究)	平成16年3月23日
Kim, Sang-Woo (金 湘 祐)	「Study on Fabrication and Characterization of Self-and Artificially-Assembled ZnO Nanodots」 (ZnO ナノドットの自己形成と人為形成およびその物性評価に関する研究)	平成16年3月23日
小野島紀夫	「Heteroepitaxial growth of High-Quality AlN on SiC by Molecular-Beam Epitaxy toward Electronic Device Application」 (電子デバイス応用へ向けた分子線エピタキシー法によるSiC 上高品質AlNのヘテロエピタキシャル成長)	平成16年3月23日

山本 俊明	「A fast and accurate method for evaluating Raman crosstalk in wavelength-division-multiplexed optical transmission systems」 (波長分割多重方式光伝送システムにおけるラマンクロストークの高速かつ高精度な評価法)	平成16年 3 月23日
後藤佐知子	「マンモグラフィにおける乳腺組織の定量化に関する研究」	平成16年 3 月23日
Francesco Voci	「Analysis and Implementation of Non Linear Spatial Filtering for Image Processing」 (非線形空間フィルタの解析と画像処理への適用)	平成16年 3 月23日
上田 義勝	「Study on High Performance System of Plasma Wave Receiver for Satellite/Rocket Observations」 (衛星/ロケット搭載用高性能プラズマ波動観測器に関する研究)	平成16年 3 月23日
梅田 隆行	「Study on Nonlinear Processes of Electron Beam Instabilities via Computer Simulations」 (計算機実験による電子ビーム不安定性の非線形過程に関する研究)	平成16年 3 月23日
武市 統	「マイクロ波送電技術による小電力情報機器給電に関する研究」	平成16年 3 月23日
手柴 充博	「ウィンドプロファイラ観測に基づく台風の立体構造に関する研究」	平成16年 3 月23日
横山 竜宏	「A study of midlatitude ionospheric E-region irregularities with rocket/radar experiment and numerical simulation」 (ロケット/レーダー観測と数値シミュレーションによる中緯度電離圏E領域不規則構造に関する研究)	平成16年 3 月23日
加山 英俊	「無線パケット通信方式のアクセスプロトコルの研究」	平成16年 3 月23日
Benjebbour Anass	「Efficient Signal Processing Techniques for MIMO Systems」 (MIMOシステムにおける高効率信号処理技術)	平成16年 3 月23日
郭 賢 善	「Study on Access Protocols for Multi-hop Wireless LAN」 (マルチホップ無線LANのアクセスプロトコルに関する研究)	平成16年 3 月23日

伊藤 京子	「エネルギー・環境教育のための電子ネットワークコミュニケーションに関する研究」	平成16年 3 月23日
小澤 尚久	「新しい人間情報行動計測法とプラント運転教育の計算機支援への応用に関する研究」	平成16年 3 月23日
森本慎一郎	「CO ₂ 削減型グローバルエネルギーシステムの総合的評価に関する研究」	平成16年 3 月23日
川染 勇人	「Spectoscopic Study of Neutral Hydrogen Atoms in Helical Plasmas」 (ヘリカルプラズマ中の中性水素原子の分光学的研究)	平成16年 3 月23日
岡野 誠	「3次元フォトリック結晶光共振器及び光導波路に関する理論解析」	平成16年 7 月23日
太田 裕朗	「Molecular dynamics simulation of the plasma-surface interaction during plasma etching processes」 (プラズマエッチングプロセスにおけるプラズマ-表面相互作用の分子動力的計算による研究)	平成16年 7 月23日
武田 和雄	「Intermittent Thermal Transport Generated by Ion Temperature Gradient Driven Turbulence」 (イオン温度勾配駆動乱流により生じる間欠的な熱輸送)	平成16年 7 月23日
杉立 厚志	「二次元フォトリック結晶線欠陥レーザに関する研究」	平成16年 9 月24日
宋 奉植	「Hetero Photonic Crystals and Their Applications」	平成16年 9 月24日
杉山 敬三	「OSI 応用ソフトウェア実装方式とネットワーク管理に関する研究」	平成16年 9 月24日
佐藤 高史	「Modeling and experimental studies of the electro-magnetic coupling on on-chip interconnections for accurate noise-aware delay calculation」 (雑音を考慮した高精度遅延計算のためのLSI内配線の電磁氣的結合に関するモデル化と実験的検証)	平成16年 9 月24日
設楽 弘之	「Development of a 70 GHz ECRH System on the Heliotron J Device」 (ヘリオトロンJ装置における70 GHz ECRH システムの開発)	平成16年 9 月24日

黒川 悟（佐藤享教授）

超広帯域パルスを用いた時間領域空間計測法と小型プリント基板電磁界センサの開発 平成15年11月25日授与

本論文では、UWB（Ultra wide band：超広帯域）パルスを用いた時間領域での電磁波計測とFDTD法数値計算に基づいて行った、UWBパルスを用いた通信に関する研究、人体の電磁波被曝量の低減手法に関する研究、ならびにGHz帯での機器の設計に利用可能な電磁界センサの開発に関する研究について述べている。ここでは、本論文の一部を紹介する。

1 数値計算と時間領域計算による電波シールド衣服のシールド特性評価（第2章）

UWBパルス測定法を応用した計測技術として、人体の電波被曝量を低減する目的で開発した電波シールド衣服の衣服形状での電波遮断周波数特性を計測する手法を開発した。本手法は、UWBパルスを用いた時間領域計測により、測定に不要な反射波を取り除き、直接到来する電波のみによる評価を可能とする手法であり、電波暗室等高価な設備は不要である。衣服のシールド特性を決定する要因が、衣服を直接透過する直接透過波と首の開口部分から侵入する回折波の合成波により決定されることが示された。さらに、それぞれの波をウィナーフィルタによるパルス圧縮法により、直接透過波と回折波を別々に評価可能となった。シールド衣服の周波数特性評価結果の例を図1示す。図中[L=200mm]は、電波シールド衣服の遮断特性を、[Direct]は衣服を直接透過する電波の遮断特性を、[Diffract]は首開口部の遮断特性を、[residual]は首開口部の遮断特性評価限界を示している。

2 方向性結合器型プリント基板上電磁界センサ（第4章）

動作周波数がGHz帯へと至る電子機器の設計に利用可能な電磁界センサとして、UWBパルスを用いたFDTD法数値計算による最適化設計により、方向性結合器型電磁界センサの開発を行った。開発センサは、プリント基板上の線路を伝搬する信号の進行波と反射波を分離して測定することが可能な超小型センサであり、高周波回路で問題となる回路間のマッチング不良の存在等を知ることが可能である。センサの概要を図2に、マイクロストリップ線路上を伝播する信号を測定した場合のセンサの周波数特性を図3に示す。進行波（図中「ポート3出力」）と反射波（図中「ポート4出力」）の分離性能を表す方向性（図中「方向性」）が、6GHz以下で25dB以上、7GHz以下では17dB以上を実現するものである。

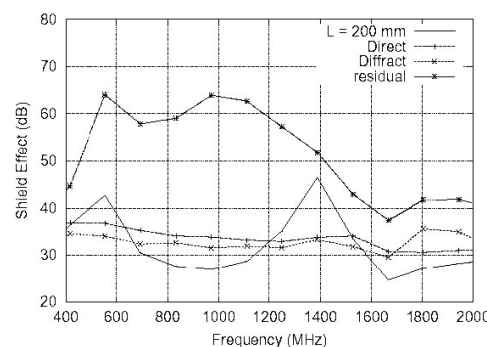


図1 電波シールド衣服の電波遮断特性例

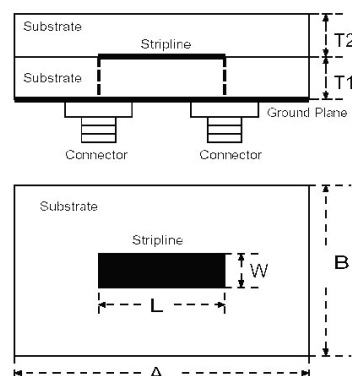


図2 センサの概要

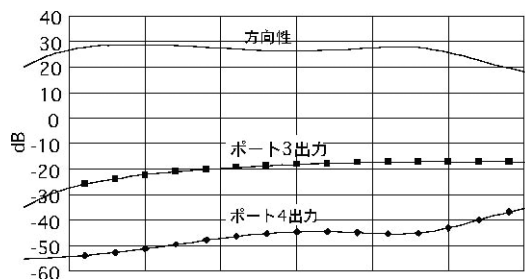


図3 試作センサの周波数特性

佐 藤 宣 夫（松重教授）

「PZT薄膜カンチレバーを用いた多機能走査プローブ顕微鏡の開発およびその応用に関する研究」

平成16年1月23日授与

走査プローブ顕微鏡（Scanning Probe Microscopy ; SPM）はナノテクノロジーにおける必須のツールであり、様々な研究・開発が続けられている。特にナノスケールで3次元形状を捉えるだけでなく、光物性あるいは電子物性をナノスケールで評価する方法は、ナノテクノロジーによって作製される光・電子デバイスの評価に必須である（図1参照）。

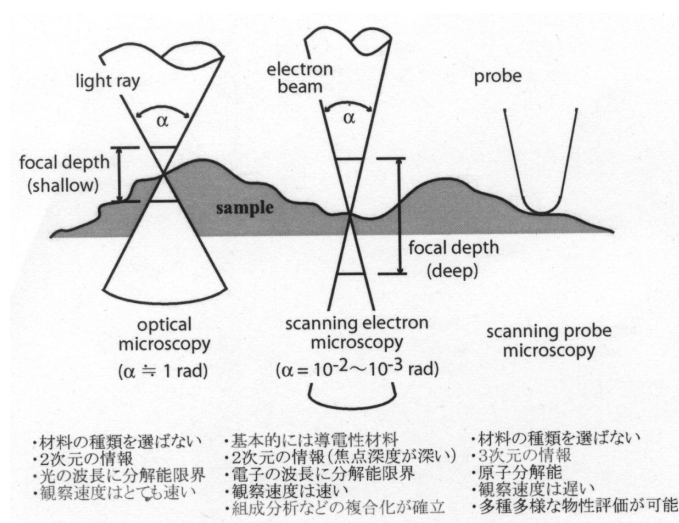
本研究では、自己検出型カンチレバーである、PZT（ジルコン酸チタン酸鉛）薄膜カンチレバーを用いたダイナミックモード（dynamic-mode）動作型のAFMを構築する。ナノスケール構造の物性評価としては、表面形状の観察のほかにナノスケールでの光学特性評価を行うために、本研究装置を散乱型の近接場光学顕微鏡（Scanning Near-field Optical Microscopy ; SNOM）として利用する。またナノスケールでの電気特性の評価を行うために、同装置をケルビンプローブ表面力顕微鏡（Kelvin-probe Force Microscopy ; KFM）としても利用する。さらに探針－表面距離制御に高感度で安定性の良いFM検出方式を採用しており、これらによって、ナノスケールでの局所的な光・電子物性の同時評価を実現しうる。

PZT薄膜カンチレバーを用いた多機能SPMを構築に際し、重要なプローブとなるPZT薄膜カンチレバーの構造や特性を詳細に調べた。また自己検出型のPZT薄膜カンチレバーを含めた本研究装置によって観測できる表面形状、光物性、電子物性の評価性能を十分に把握するために、ナノスケールの構造を有する既知材料（マスクパターン、CD-ROM表面、 LiNbO_3 導波路、ナノ粒子など）の観察を行った。

さらにナノスケールでの機能性材料として期待される強誘電体材料（単結晶、無機薄膜、有機薄膜）を、それぞれ本研究装置で観察した。特に強誘電体薄膜の観察に応用することによって、ナノテクノロジーにおけるSPMの具体的な利用用途として提示した。

一方、AFMの本質的な問題点である、その走査速度（観察時間）についてもPZT薄膜カンチレバーの、PZT薄膜を変位検出ではなく、マイクロアクチュエータとして利用しフィードバック（feedback）制御機構を担わせることで、その打開策を提案し、高速で表面形状像を取得できるAFMを実現した。

このように本研究では、PZT薄膜カンチレバーを用いた多機能SPMを新規に構築し、ナノスケールでの材料評価方法を確立した。具体的には、PZT薄膜カンチレバーを用いたダイナミックモードAFMを構築し、ナノスケールでの同一箇所での表面形状像ならびに、微小光学像（SNOM像）、表面電位像（KFM像）の観察ツールとしての用途を確立し、さらに高速走査へと展開した。加えてPZT薄膜カンチレバーを用いたAFM/SNOM/KFMとしての理論的な分解能の限界を指摘し、具体的な改善方法を提案したことから、今後の進展も期待されるところである。



伊 藤 浩（松山教授）

「計算論的初期視覚モデルに基づく符号化画像の画質評価法と符号化のための解像度制御法」

平成16年1月23日授与

私たちの脳が視覚情報を処理するモデルに基づいて、画像符号化の画質を最大とする問題を取り上げ、客観的な画質の評価尺度とそれに基づく符号化パラメータの制御方法を導く。

画像符号化はDVDやデジタル放送などに用いられる、信号を圧縮するための技術である。従来、その画質は、符号化前後の信号差分とそれがどの程度知覚されるかという心理実験的な視覚特性に基づいて評価されてきた。しかし、私たちは、物体の境界、テクスチャ、動きなどに連続性や組織性の乱れが

起きると瞬時にその変化に気づくように、信号差分だけを歪みとして知覚しているわけではない。

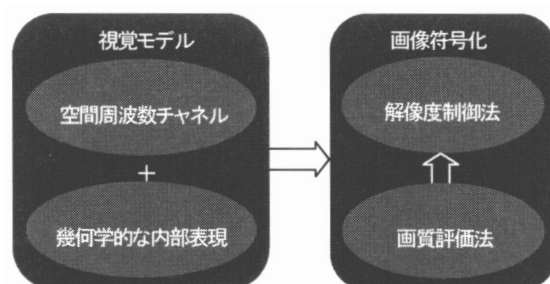
D. Marrが提唱する計算論的視覚モデルは、脳で何が計算されているのかを重視するモデルである。このモデルによれば、初期視覚において重要な内部表現は、空間周波数チャンネルによって分解される帯域通過信号と、それが符号を反転する点の集合として定義される零交差である。画像符号化がこのような内部表現に与える変化は、単なる信号差分よりも直接的な品質の尺度となるであろう。

そこで、本研究では、まず、これらの内部表現に基づく画像の品質尺度を定義した。零交差の再現性については、その形状の変化を知覚される量に変換して歪みの客観尺度とした。零交差は、多くの場合、物体のエッジに対応する。符号化では、しばしば幾何学的な歪みが生じ、エッジの滑らかさが失われるので、この尺度はこのような滑らかさの欠如を捉えることができる。また、空間周波数チャンネルにおける信号の変化は、しばしば高域周波数成分の減衰として生じるので、知覚されるエッジの勾配の変化からそれを定量化した。これらの歪みをそれぞれXとYとし、その線形結合 $aX+bY$ を総合的な品質の尺度として定義する。

次に、これらの歪みを制御する画像符号化の解像度制御アルゴリズムを導出した。解像度制御は、符号化の前に低域通過フィルタを用いて、入力信号の周波数スペクトルを制限する手法である。このような制限を行えば、歪みYは増加するが、歪みXを減少させることができる。解像度制御の手法は従来から提案されていたが、本研究では、そこで生じる歪みをXとYに関連付けて定義し、これらの関係を明確にした。

最後に、符号化画像を用いた主観評価実験を行って、XとYによる客観的な尺度と主観的な総合画質との関係を明らかにするとともに、総合画質の観点から解像度制御の有効性を明確にした。ここで得られた主要な結論は次の3点である。1) X、Yと総合画質の主観評価の間には強い相関が存在する、2) 解像度制御は符号化画像の主観評価を向上させることができる、3) この向上は $aX+bY$ から予測できる。解像度制御による主観評価値の向上は、符号化において解像度を適切に選択することの重要性を示す。また、最適解像度の選択が零交差の再現性を含む客観尺度で説明できることは、画像の滑らかさや規則性などの視覚の上位の概念を符号化パラメータの最適化の中に組み込むことの有効性を示唆する。

本研究は、民間企業に勤務するかたわら、社会人学生として京都大学で行ったものである。この研究を通じて、日常とかく忘れがちな物事の本質を追及する哲学的な発想について多くのことを学ぶことができた。



米 本 明 弘 (奥村教授)

「Study on Numerical Laplace Transforms and Their Applications to Analysis of Transmission Lines」

(数値ラプラス変換とその伝送線路解析への応用に関する研究)

平成16年3月23日授与

情報およびエネルギーの伝送はこれまでにない重要な問題となりつつあり、それらを担う半導体の高速信号配線や電力システムの解析では、伝送線路モデルを用いた過渡解析の必要性が高まっている。また、そのような線形システムの過渡解析にはラプラス変換が有効であり、同時にその高速かつ高精度な数値計算手法が望まれる。本研究では、まず数値ラプラス変換についてFFT型逆変換の誤差を大きく改善し、効率的な変換対を新たに提案するとともに、ハードウェアへの実装を行った。また、伝送線路解析への応用として短絡故障時の過渡解析を行い、過渡波形の直交性にもとづいた故障点標定法を提案した。

数値逆ラプラス変換は化学反応や地質解析等でも用いられ、様々な方法が提案されている。その一つであるFFT型逆変換は、対応する数値順変換が存在するという他にはない特徴を持つが、無限和の打ち切り誤差が指数関数的に増大する欠点が知られている。本研究では、図1に示すように s 関数 $F(s)$ をあらかじめ s^i で割ること(i 階積分に相当)で $s \rightarrow \infty$ での減衰を加速し、打ち切り誤差を著しく低減する手法を提案した。特に積分により不連続点が解消され、ギブスの現象を回避できる利点がある(図2)。

一方、数値ラプラス変換対により t 領域のたたみ込み演算を s 領域で高速に行うことができる。従来の変換対では、逆変換時の誤差によりデータ点が半数に棄却され、それを内挿によって補間する。本研究では補間されたデータ点が次段の変換で棄却されることを示し、補間処理を省き、提案する逆変換法を用いる変換対を構成した。これにより計算効率を向上するとともに誤差を改善することができ、データの有効範囲が広まった(図3)。また、数値ラプラス変換のリアルタイム処理を可能とするため、VHDLにより専用ハードウェアをプロトタイプ実装し、FPGA上で動作を確認した。フーリエ変換とは異なり、ラプラス変換では指数関数が存在するため固定小数点数による実装では精度が著しく低下するが、これをFFTのバタフライ構造に着目し、擬似浮動小数点数を用いることで改善した。

また、電力システムにおける雷撃による短絡故障を想定し、伝送線路における短絡時の過渡現象について解析を行った。まず、図4のような無損失単相線路において送端に現われる過渡電圧波形(図5)が直交関数系として知られるラゲール関数となることを明らかにし、その直交性を利用した故障点標定法を提案した。また、数値逆ラプラス変換を用いて大地の表皮効果を数値的に評価し、単相線路では過渡波形が著しくなまり直交性が満たされなくなるが、三相線路では大地の影響の少ない線間モードの存在により、提案する故障点標定法が有効であることを数値シミュレーションによって示した。

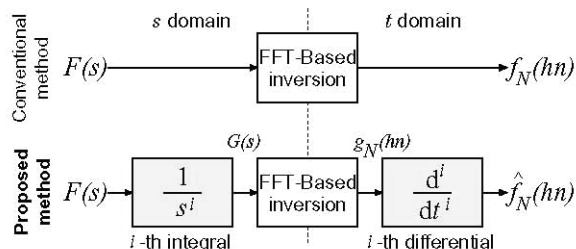


図1: 数値逆ラプラス変換の提案手法

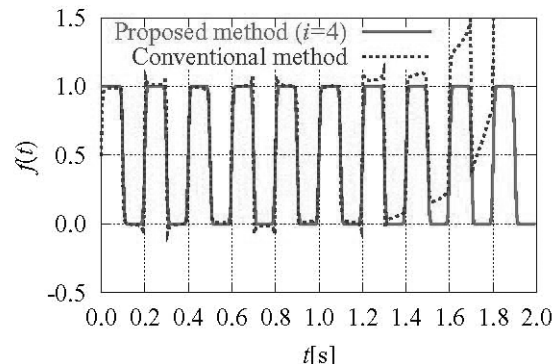


図2: 矩形波の数値逆ラプラス変換

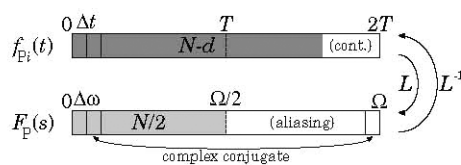


図3: 提案する数値ラプラス変換対

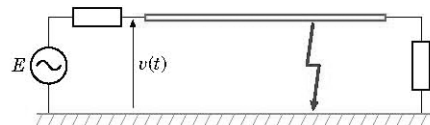


図4: 単相線路における短絡故障

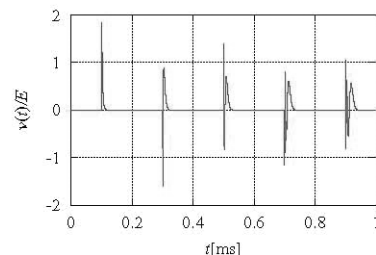


図5: 送端電圧の短絡時過渡波形

田 口 秀 文 (荒木教授)

「2自由度PID制御系の調整法に関する研究」

平成16年3月23日授与

本論文は、目標値応答と外乱応答を同時に良好にすることができる2自由度PID制御系（図. 1）に関して、そのパラメータ調整法についての研究をまとめたものである。

PID調節計は、比例（Proportional）、積分（Integral）、微分（Derivative）の3つの動作を含む制御装置である。比例動作は現在の値に基づく判断、積分動作は過去の値の記憶に基づく判断、微分動作は未来の値の予測に基づく判断と解釈できる。PID調節計の始まりは1939年に遡り、その後広く産業界で使われてきた。実際、1990年の調査では、産業界で実際に使われている制御装置の90%がPID（改良形を含めて）であった。

2自由度PID調節計は、Horowitzにより研究されていた2自由度制御装置の構造をPID調節計の枠組みの中で利用しようとするもので、1984年に荒木によって提案された。これとともに、従来のPID調節計は1自由度PID調節計と呼ぶべきものであることが認識され、「目標値に対する応答と外乱に対する応答を同時に満足すべきものとすることができない」という従来型PID調節計の問題が、制御装置の構造自体に由来するものであることが明確に説明された。2自由度PID調節計は、1980年代の末頃から徐々に産業界に広がり、今では、目標値の変更がひんぱんに起こる場合に対応できる標準的な制御装置として広く供給されている。

制御装置は、パラメータ調整がうまく行えて初めて意味のある動作を行うことができる。PID調節計が広く使われてきた背景には、いろいろな最適調整則が提唱され、それが多くの実用的場面で有効に機能してきたという事実がある。これと同様に、新しく提案された2自由度PID調節計についても、使い易い調整則が整備されて初めてその能力を十分に生かすことが可能となる。本論文の著者は、2自由度PID調節計が提案された直後から、その調整法の研究に携わってきた。本論文は、その研究をまとめたものである。成果の一例を表1に示す。

表1 2自由度PID調節計の最適パラメータ値

$$(\text{制御対象 } P(S) = \frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts})$$

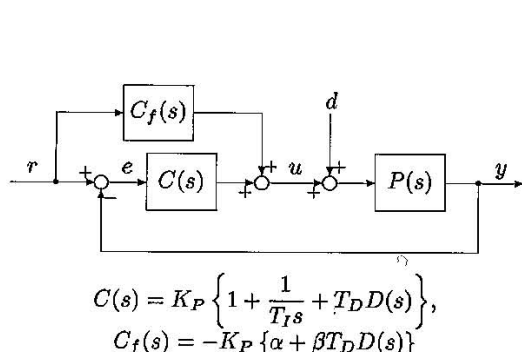


図1 フィードフォワード型（FF型）2自由度PID制御系

L/T	$K_P \cdot K$	T_I/T	T_D/T	α	β
0.1	12.57	0.22	0.04	0.64	0.66
0.2	6.32	0.40	0.08	0.61	0.64
0.3	4.24	0.56	0.12	0.59	0.62
0.4	3.21	0.69	0.16	0.56	0.61
0.5	2.59	0.81	0.19	0.54	0.59
0.6	2.18	0.91	0.23	0.51	0.57
0.7	1.89	1.01	0.26	0.49	0.56
0.8	1.68	1.09	0.30	0.47	0.54
0.9	1.51	1.17	0.33	0.45	0.53
1.0	1.38	1.24	0.36	0.43	0.52
1.2	1.18	1.37	0.42	0.39	0.49
1.4	1.05	1.49	0.48	0.36	0.48
1.6	0.95	1.61	0.54	0.33	0.48
1.8	0.87	1.71	0.59	0.30	0.46
2.0	0.81	1.81	0.64	0.29	0.47
2.5	0.71	2.06	0.76	0.25	0.51
3.0	0.64	2.30	0.86	0.23	0.55
4.0	0.56	2.78	1.01	0.19	0.63
5.0	0.51	3.26	1.12	0.15	0.66
7.5	0.45	4.43	1.29	0.07	0.67
10.0	0.41	5.59	1.37	0.01	0.67

立 松 明 芳（島崎教授）

「数値電界計算法の高度化と帯電電荷測定法への応用」

平成16年3月23日授与

高電圧絶縁機器では高圧導体を支持するための固体絶縁物の存在が不可欠である。近年普及するようになったガス絶縁、真空絶縁などの絶縁方式においては、薄板でない（以下「バルク状」と呼ぶ）絶縁物表面に生じた帯電電荷の存在が沿面放電から絶縁破壊を引き起こす原因となり得る。そのため、帯電を生じても絶縁破壊に至らない機器の開発や絶縁性能の評価を行うために、バルク状絶縁物表面の帯電電荷測定法の確立が必要とされる。

最も一般的な帯電電荷測定法は静電プローブを用いる方法であるが、フィルムのようなシート状絶縁物の場合と異なり、バルク状絶縁物では静電プローブ出力（帯電電荷がセンサに静電的に誘起する電荷量）と帯電電荷量との間に1対1の対応関係が成り立たない。このため、バルク状絶縁物の帯電電荷測定では、数値電界計算を用いてプローブによる多点の測定値 b と、数値離散化して表現した帯電電荷 x （未知数）との間の関係 $Ax = b$ を表す係数行列 A を計算した上で、測定値から逆計算により電荷分布を推定する必要がある。このような測定原理は20年以上も前に明らかにされながらも推定精度、実用性ともに高レベルの測定法として確立されていない。

本研究の目的は汎用性、信頼性の高い帯電電荷測定法を確立することであり、主な成果は次のとおりである。（1）係数行列の計算に必要な計算量（演算量、メモリ容量）は未知数の増加（電荷分布表現の詳細化）に伴って膨大になり、三次元配置での係数行列の計算の実行は容易ではない。さらに、逆計算では係数行列に含まれる数値誤差や測定誤差によって推定値（帯電電荷）が容易に発散し得るために高精度の係数行列が求められる。そこで係数行列の計算に高速度化・高精度化・大容量化した数値電界計算法を適用することで、高速に高精度の係数行列の計算を可能とした。（2）逆計算において安定した推定を実行するために、元の方程式に解の拘束項を付加したペナルティ付き最小二乗法（RLS）を用い、平滑化効果を有するフィルタに基づいてRLSの拘束項を設計する手法を与え、係数計算誤差および測定誤差の推定値への影響について逆問題解析の立場から定量的に検討した。

図1に示す測定配置において、円柱形絶縁物を針電極からの負コロナで帯電させたのち、1794の未知数で電荷分布を表現（測定点数3042）した場合の帯電電荷測定を実施した。測定値からRLSで推定した帯電電荷分布を図2（円柱絶縁物側面の展開図）に示す。

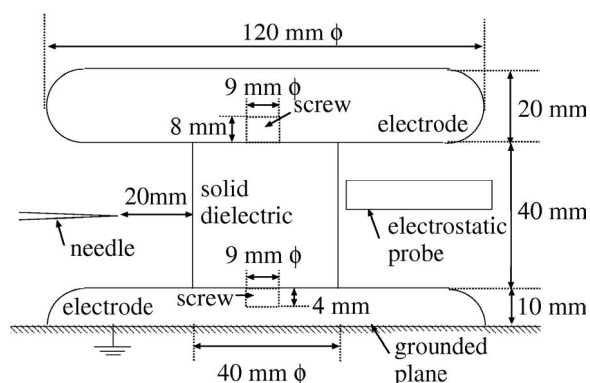


図1：測定配置

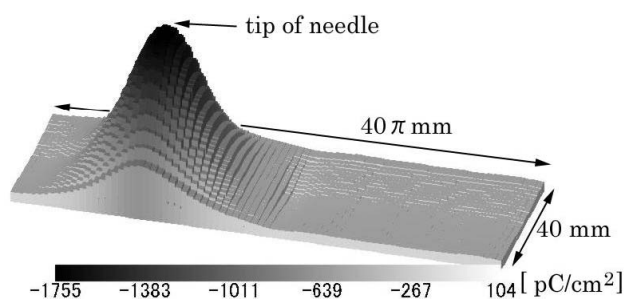


図2：推定帯電電荷分布

韓 相 逸（牟田教授）

「Basic Studies on Optimal Design of Superconducting Synchronous Machines」
（超伝導同期機の最適設計に関する基礎的研究）

平成16年3月23日授与

本論文は、超伝導同期機の設計に関して、これまで経験的に行われてきた設計を体系的に行う手法を構築するもので、設計モデルに対する構成式を明らかにするとともに最適化手法を用いた設計方法を論じた結果をまとめたものである。序論では、本研究の背景として現用同期機に比べて超伝導同期発電機及び超伝導同期電動機が持つ長所のためこれまで世界で研究開発されてきた成果とその現在状況を述べている。また、超伝導同期機の設計方法に関して経験的に行われた設計法の問題点を示し、その問題点を解決するために最適化手法を提案している。

つぎに、超伝導応用に用いられる超伝導材料の一般特性を述べている。特に、超伝導発電機の界磁巻線を構成する低温超伝導線材であるNb-Ti線材と超伝導電動機の界磁巻線を構成する高温超伝導線材であるBi2223テープ材の特性を述べている。さらに、超伝導同期機設計において設計項目として考慮する超伝導線材の特性に関して述べている。

超伝導同期機設計に適用する最適化手法として解の広域探索法である遺伝的アルゴリズムと焼きなまし法を用い、最適化過程中実行不可能解が出る場合に実行可能解へ差換える補修過程を入れるという修正アルゴリズムを提案し、最適解への収束性を高める有効な手法であることを実証している。さらに、多目的関数を最適化する場合、通常の重み付け法ではいずれかの目的関数の最適解に近いものになってしまう。これに対し、補正係数を導入した可変重み付きmin-max法を提案し、得られる変数解の偏りを解消できることを検証してその有効性を確かめている。

さらに超伝導発電機と超伝導電動機の最適設計に関して述べている。2次元設計モデル上で電磁界解析によって導出された電気的特性式ならびに機械的特性式から設計パラメータを与える表式を導出し、低温超伝導線材の特性を考慮した設計項目も導入した設計式を再構成することにより、超伝導発電機と超伝導電動機の設計関連式を明らかにしている。また、修正遺伝的アルゴリズムと焼きなまし法を超伝導発電機と超伝導電動機の設計に適用して高効率及び小型化のため効率ならびに出力密度を目的関数とし、線材特性と製作上の制約条件を考慮して行った最適設計を述べている。実際に製作されて性能試験が行われたモデル機にこの最適化手法を適用し、試行錯誤による現状の設計法の妥当性を検証するとともに本設計方法の有効性を示している。効率と出力密度の多目的関数を最適化する場合、通常の重み付け法ではいずれかの目的関数の最適解に近いものになってしまうが、提案する可変重み付きmin-max法は、得られる変数解の偏りを解消できることを検証している。さらに、超伝導発電機の設計仕様と設計結果からその機器パラメータが効率ならびに出力密度に及ぼす影響を明らかにし、超伝導発電機に対する電気的な特性すなわち、効率特性、遮蔽特性、無負荷特性、短絡特性、外部特性、出力特性などを検討して超伝導発電機の特徴を明らかにしている。さらに、超伝導電動機の設計仕様と設計結果からその機器パラメータが効率ならびに出力密度に及ぼす影響を明らかにし、超伝導電動機に対する電気的な特性すなわち、効率特性、遮蔽特性、出力特性、V曲線特性などを検討して超伝導電動機の特徴を明らかにしている。

Khosru Mohammad Salim（牟田教授）

「Studies on Rectifier Type Superconducting Fault Current Limiters Using Variable Reactor」

（可変リアクトルを用いた整流型超伝導限流器に関する研究）

平成16年3月23日授与

本論文は、電力系統において、事故電流を抑制し、系統運用の自由度を増すことのできる機器のである限流器のうち、超伝導整流器型限流器の得失について論じている。また、当該限流器の電流制限素子として用いる直流可変リアクトルの実現方法について考案し、その有効性を論じたものであって、7章からなっている。

第1章は序論であり、研究背景を述べ、限流器の各種方式を紹介・比較し、半導体遮断器と親和性の高い超伝導整流器型限流器を選択した経緯について述べている。研究の出発点となった回路方式は、直流電流源を必要とするが、整流器の直流側に入るため、対地絶縁された電源である必要があった。電力系統で用いる場合は絶縁電源の実現が困難であるため、バイアス電流源を持たない回路方式について、検討している。

第2章では、直流バイアス電源を持たない場合に、直流インダクタンスの値が大きいと通過(負荷)電流が増加する場合に限流作用が発現し、瞬時電圧降下が起きることを理論的・実験的に確認し、その大きさと限流インダクタンスの関係を明らかにした。この問題を解消するため、インダクタンスの値を電流値によって変化させればよいことを指摘し、そのための方式を考案し紹介した。

第3章では、可飽和リアクトルを用いて可変リアクトルを実現する方法を提案し、100V、10A級小形試験装置を試作し、実験的にも解析的にもその動作を検証・確認した。さらに、設計法を提案すると共に、6.6kV、100A級の配電系統規模の限流器を設計し、適用性を検討した。

第4章では、超伝導無誘導リアクトルを用いて可変リアクトルを実現する方法を提案し、かつ小形試験装置を試作して、実験的にも解析的にもその動作確認を行い、有用性を立証した。提案したのは、一式の混合単相ブリッジの直流リンクに逆並列接続された2つのコイルを接続したもので、もう一方は、夫々のコイルを別のブリッジに接続するものである。四巻線変圧器として製作されたコイルを用いたため、100V、100A級小形試験装置で動作試験し、さらに、それらの成果をもとに6.6kV、1kA級の配電系統規模の限流器を設計し、適用性を検討した。

第5章では、概念として提案されている超伝導短絡巻線を持つリアクトルや超伝導磁気遮蔽体を新規に整流型限流器の可変リアクトルとして実現する方式について、小形モデルによる原理動作試験・素子特性を見極める実験や解析を行い、得失を比較した。超伝導短絡巻線を持つリアクトルは、いわゆる変圧器型であり、第4章で試験に用いたのと同じコイルを使用して比較試験を行った。トリガコイルは、常伝導転移するが、電流は急速に減衰し、発熱が抑えられるため、事故除去後に問題なく再閉路できることが示された。また、Bi2223バルク円筒を遮蔽体として用いる方式については、遮蔽特性把握試験を行い、PSCAD/EMTDCを用いて計算機模擬実験をし、その結果について論じている。

第6章では、第3章から第5章まで提案された各種方式について、得失を論じ、その結果、現時点では、超伝導無誘導可変リアクトルを用いた整流型限流器が最も有望であるとの結論を導き出している。第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

金 湘 祐（藤田静教授）

「Study on Fabrication and Characterization of Self- and Artificially-Assembled ZnO Nanodots」

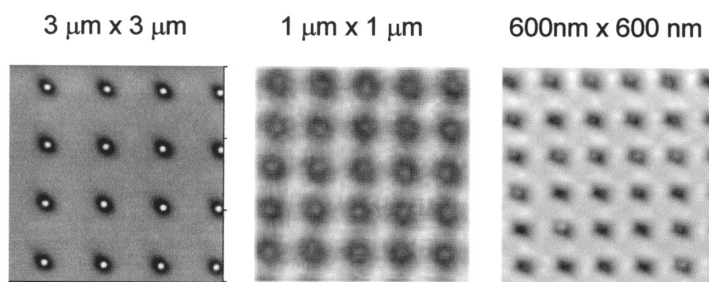
（ZnOナノドットの自己形成と人為形成およびその物性評価に関する研究）

平成16年3月23日授与

酸化亜鉛（ZnO）は、広範に電気特性が制御でき、ガスセンシングや光触媒機能を持ち、ドーピングにより磁性の発現が期待されるといった多機能光・電子材料である。最近になって注目されているのが、電子と正孔がクーロン力で結合した、いわゆる励起子が室温においても安定に存在するという特性で、これは紫外領域における高効率の発光デバイス、光非線形デバイスにつながるものである。一方、ナノサイズのロッド、ワイヤ等が自然に形成（自己形成）することが明らかになり、ナノデバイスへの応用が期待されている。本研究は、励起子が三次元的に強く閉じ込められることによって、強い量子効果や励起子効果を発現する場を提供することを目指し、ナノサイズのZnOドット（ナノドット）を形成する基礎技術の確立、また人為的にその位置、サイズを制御する技術の開拓を目的に行った。

ZnOの成長は、有機亜鉛と亜酸化窒素（または二酸化窒素）を原料として、有機金属気相成長法により行った。非晶質SiO₂膜上に成長を行うと、成長初期に三次元的な核成長をする傾向が強く、この成長モードを応用して、幅数十nm以下、高さ10nm以下というZnOナノドットの自己形成に成功した。このようなドットの形成機構として、ZnOとSiO₂の異質性によって凝集が生じるという、いわゆるVolmer-Weberモードが考えられる。また、このナノドットは、欠陥をほとんど含まない単結晶で、これはZnOの強いc軸配向性によると思われる。サイズが幅20nm以下の小さいナノドットに対する光物性測定から、ゼロ次元量子ドットの形成による量子効果の発現を示唆する結果を得るとともに、強励起のもとで、励起子効果に基づく誘導放出を観測して光デバイス応用への可能性を示した。

このような自己形成ナノドットの位置およびサイズを人為的に制御する手法として、集束イオンビームによってSiO₂表面に深さ2～10nmの溝状または穴状の加工を施し、この上へZnOの成長を行うという手法を提案した。その結果、溝の内部にナノドットが周期的に配列し、また、穴の内部に選択的に単一ナノドットを形成することができた。図(a)、(b)ではそれぞれ直径130±10nm、42±7nmのナノドットが750nm、190nmの周期で配列していることを示している。これは、穴の部分では反応種が核形成し、平坦な部分では反応種が再蒸発または穴の中へマイグレーションするという機構に基づいた選択性であると思われる。サイズ分布も小さく、人為制御という本研究の目的に適うものである。他方、図(c)のように配列周期が100nmを目指した場合には、穴の中に形成される確率は未だ64%である。これは、穴が小さく平坦な部分とのポテンシャル差が小さくなったためと考えられ、穴の中で核形成が生じる条件、例えば低温成長によってより完全なドットの位置制御が達成できるものと思われる。単一ドットからのカソードルミネセンスも観測され、ナノ光回路や単一電子トランジスタ等への応用に進展することが期待される。また、他の材料系へこの制御技術を適用することも考えられる。



(a) 配列周期750 nm (b) 配列周期190 nm (c) 配列周期100 nm

図. 配列制御されたZnOナノドットの原子間力顕微鏡像

小野島 紀 夫（野田教授）

「Heteroepitaxial Growth of High-Quality AlN on SiC by Molecular-Beam Epitaxy toward Electronic Device Application」

（電子デバイス応用へ向けた分子線エピタキシー法によるSiC上高品質AlNのヘテロエピタキシャル成長）

平成16年3月23日授与

今日の情報通信や電力供給をハード面で支えているのは、半導体を核とするエレクトロニクスである。21世紀に入り、社会はさらなる高度化を続ける中、半導体ハード技術にも飛躍的な発展が期待される。微細化やデバイス構造の工夫・改善により目覚ましい発展を遂げた半導体SiやGaAsは、その材料的性質からくる制約のためにデバイス性能の限界が見えてきており、これからは新規材料の研究、基盤技術の構築により、半導体デバイスの新たなブレークスルーを図る必要がある。

本論文で取り上げた窒化物半導体やSiCは、従来の半導体を凌駕する優れた性質を持ち、高出力の高周波トランジスタや超低損失のパワートランジスタなどの実現が期待される。このような新規材料の研究では、従来の半導体で培われた成熟した技術から習うことは多いが、すべての技術を踏襲することはできない。例えば、SiCではSiと同様に熱酸化による絶縁性の良いSiO₂膜の形成が可能のため、MOSFETを作製できるが、SiO₂/SiC界面の品質がSiO₂/Siほど良好ではなく、走行する多くの電子が界面準位（トラップ）に捕獲されるため、電気抵抗の増大が問題となる。また、窒化物半導体GaNにおいては、バルク単結晶の作製が困難であるため、材料的性質の異なる異種基板上に結晶を成長（ヘテロエピタキシー）してデバイス構造が作製される。ここでSiCは、熱伝導率が高いため、GaN系高出力デバイス用基板としても期待される。特に、窒化物半導体AlNとの結晶格子定数が近く、化学的親和性も高いため、AlN核形成層を介したSiC上Ga_{0.5}Nの結晶成長が研究されている。また、非常に大きなバンドギャップを持つAlNをSiO₂に代わる絶縁層として活用した、AlN/SiC MISFETという窒化物半導体とSiCを融合したデバイスの実現が期待される。

このような背景をふまえ、本論文ではSiC上高品質AlNのヘテロエピタキシーに重点を置き、また、AlN/SiC界面電子物性の制御に取り組み、AlN/SiC MISFETの実現に向けて研究を行った。

図1はSiC表面の原子ステップ構造と化学的状態を制御することで可能となったAlNの2次元初期成長の様子、図2は界面形成条件やデバイス構造の工夫により実現した世界で初めてのAlN/SiC MISFETの良好なトランジスタ動作特性を示している。

本研究を通じ、結晶成長から半導体界面物性、実際のデバイス評価まで一貫して行い、非常に多くの興味深い研究ができました。お世話になりました先生方、研究室の方々に感謝いたします。

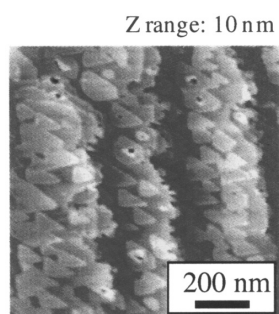


図1 SiC上に8分子層成長したAlNのAFM像（三角状のAlN 2次元核が形成されている）

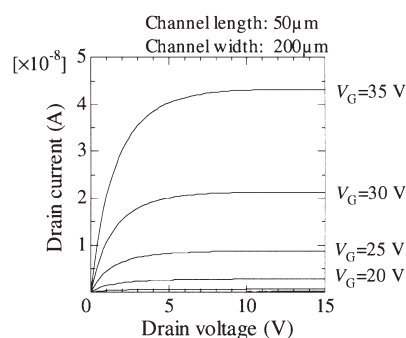


図2 SiO₂ (58nm) /AlN (4nm) stack-gate構造を用いたAlN/SiC MISFETの I_d - V_d 特性

山 本 俊 明 (佐藤享教授)

「A fast and accurate method for evaluating Raman crosstalk in wavelength-division-multiplexed optical transmission systems」

(波長分割多重方式光伝送システムにおけるラマンクロストークの高速かつ高精度な評価法)

平成16年3月23日授与

光ファイバ通信において波長分割多重(WDM)により通信容量を拡大する際、光ファイバ非線形効果による伝送特性劣化が問題となる。光ファイバ非線形効果の一つである誘導ラマン散乱(SRS)は従来の利用波長域では利得が小さく、主要な劣化要因とはならなかったため、これまで詳細に検討されることがなかった。しかし、利用波長域の拡大や他の非線形効果を抑圧する分散マネージド伝送路の開発に伴い、今後はSRSによる伝送特性劣化を無視することができないと考えられる。

光ファイバ非線形効果を評価する方法には、光信号の伝搬を伝送路に沿ったシミュレーションにより数値的に解く方法と、伝送後の光強度や位相の変化を近似の導入により解析的に解く方法がある。前者では高精度な解を得るためには膨大な計算時間が必要となり、後者は計算量が少ないものの、その精度は導入した近似に依存する。そのため、計算効率と近似精度とを両立した評価法の開発が求められている。

本論文は、SRSによる伝送特性劣化を高速かつ高精度に計算できる解析的手法の導出と改良についてまとめたものである。まず、システム性能制限の要因となるSRS波形劣化を統計的に評価する方法を確立した。さらに、近年盛んに研究が行われている分散マネージド伝送路や分布ラマン増幅伝送路といった一般的な伝送路への適用を行い、SRS波形劣化を低減する観点からみた有効な伝送路構成について提案を行った。例えば、図1に示す4種類の伝送路の中ではType-1のファイバ構成を採用するのがよいことがわかる。最後にSRS波形劣化と非ガウス雑音を考慮した誤り率の計算法を確立し、SRS波形劣化によるシステム性能制限を明らかにした。

本論文で提案する評価法は、SRSによる伝送特性劣化を高速かつ高精度に計算することが可能であり、任意のシステムに適用できる高い拡張性をもつ。従来の数値計算法では年単位の計算時間が必要となるシステムパラメータの最適化を、提案法では誤差を許容範囲に抑えながら数分以内に完了できるため、光ファイバ通信システムの設計において大変有用な指針を与える。

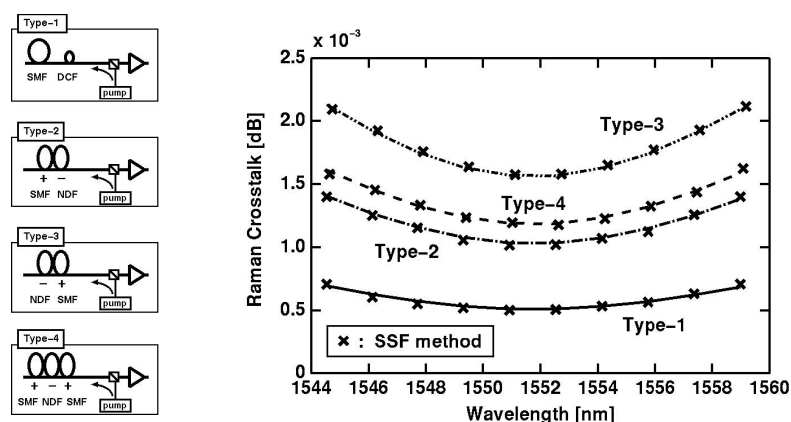


図1.分布ラマン増幅伝送路におけるSRS波形劣化量
(line: 提案法、point: 数値計算法(SSF method))

後 藤 佐知子（英保茂教授）

「マンモグラフィにおける乳腺組織の定量化に関する研究」

平成16年3月23日授与

本論文では、乳がんの早期発見を目的としたマンモグラフィを対象に、乳房組織等価ファントムを用いた乳腺組織の定量化を軸として、個人における医療被曝の推定、およびリスク分類に寄与できる画像解析システムを構築した。

マンモグラフィは、乳がんの描出を目的としたX線撮影法であり、胸部、骨部などといった一般撮影とは異なり、乳房という軟部組織を撮影する特殊撮影法の一つに画する。使用するX線エネルギー、X線発生装置（図1を参照）などの撮影システムは特殊であり、得られるX線画像も特殊であるが、乳がんの早期発見においてマンモグラフィは画像診断の中軸をなすものであり、現在、乳がん検診において最も威力を発揮している。その一方で、放射線を使用する検診は多くの自覚症状のない健康な人が被曝するという点で、放射線防護の最適化を保证する必要がある。そのためには、マンモグラフィにおける医療被曝を推定し、把握することが最重要となる。マンモグラフィでの被曝線量は、放射線感受性が最も高い乳腺組織の量に比例する。

乳房は乳腺組織と、これを取り巻く脂肪組織とに大別でき、乳がんの約90%が乳腺組織に発生するとされている。このため、放射線画像診断学的には乳腺組織からの画像情報が重要視され、乳がん病因論に関する疫学研究では、乳腺組織量が多ければ多いほど乳がんリスクが高くなるという強い相関が示されている。このため、乳腺組織量の多少に関するパターン分類（図2を参照）が放射線科専門医によって視覚的に行われており、また、自動分類を目指したCAD（Computer aided diagnosis）研究も盛んに行われている。

本研究では、マンモグラムごとの乳腺組織を乳房全体に対する割合（乳腺含有率）として定量するシステムを、X線吸収が乳房組織と等しいファントム（乳房組織等価ファントム）を用いて構築した。本システムは、画像の持つグレイレベル値を1ピクセルごとに既知の乳腺含有率に変換することが可能であり、したがってマンモグラフィを施行された個人ごとの乳腺量の定量が可能である。臨床例93画像に対し本システムを適用し、視覚評価による定量評価との比較によって、本システムの有効性を確認した。また、本システムを用いてマンモグラフィの医療被曝の推定システム、および乳腺組織パターンの自動分類システムの構築を行った。とくに、医療被曝の推定システムは、従来では行えなかった個人被曝線量の推定が可能となった。

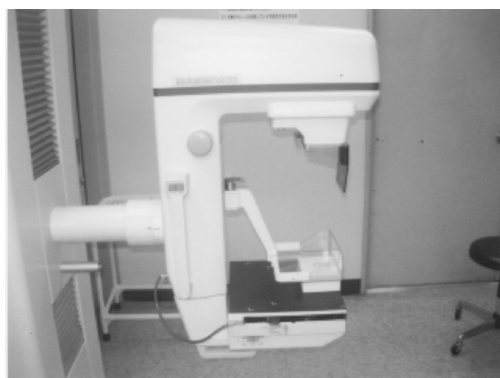


図1 専用マンモグラフィ装置

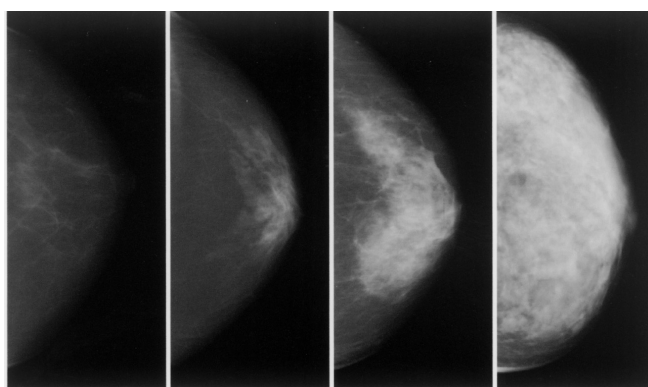


図2 典型的な乳腺組織のパターン分類例

Francesco VOCI (英保茂教授)

「Analysis and Implementation of Non Linear Spatial Filtering for Image Processing」
(非線形空間フィルタの解析と画像処理への適用)

平成16年3月23日授与

本研究は、各種の非線形空間フィルタを画像処理への適用を目的として解析したものであり、得られた成果は以下のように要約される。

1. 非線形フィルタであるモルフォロジカルフィルタについて考察し、種々の画像に対して用い、十分な強調効果があり、対象物抽出への前処理として有効であることを具体的に示した。
2. ファジー論理において画像処理に適合したメンバーシップ関数の自動調整法について述べた後、マンモグラムにおける石灰化部分の強調のためのルールを構成し明瞭な強調効果のあることを示した。また、電子基板画像上の短絡部の検出にも有効なことを示した。
3. 第二層の応答関数がガウス関数タイプで代表される三層構造のニューラルネットワークを用いた画像処理システムを提案し、その分散と平均値を学習させることにより、肌色領域の抽出が外部照明条件の変動にもロバストである検出システムを構成出来ることを示した。
4. Perona-Malikモデルで表現される拡散方程式を用いて多重解像度解析を行い、ノイズ低減とセグメンテーションに適用する手法を述べ、特に、拡散係数を近傍領域の微分値により変更する種々の方式を説明し、提案手法が、繰り返し適用の回数を増大させても誤差が増大することなく収束し、強調効果が持続する安定した手法であることを示した。もう少し詳しく述べると、熱拡散方程式は平滑化効果を持ったシステムと捉えることができるが、中でもPeronaとMalikにより提唱されたPM方程式が、境界をぼかさずにノイズを平滑化する特徴を有している (図1参照)。これは拡散係数を領域境界部では小さくし、平坦部では大きくするような非線形平滑化によるものであり、この平滑化係数の変更をガウスタイプの関数で定めるものとし、その広がり (分散) を制御するわけであるが、従来のヒストグラムから導き出されるものに対し、モルフォロジカル演算による微分要素に基づく方式、Pノルムを用いて計算される方式を提案し、いずれも繰り返し回数の増加と共に誤差が減少することをシミュレーションで示した。Pノルム以外の方法は、拡散回数の増加と共に平滑化が領域境界にまで及んできて、誤差が増大する可能性が大であるが、Pノルム法は、繰り返し適用の回数を増大させても誤差が増大することなく、強調効果が持続する安定した手法であり、計算コストも少なくすむことを述べ、種々の適用例に対して、その平滑強調効果がめざましいことを示した。

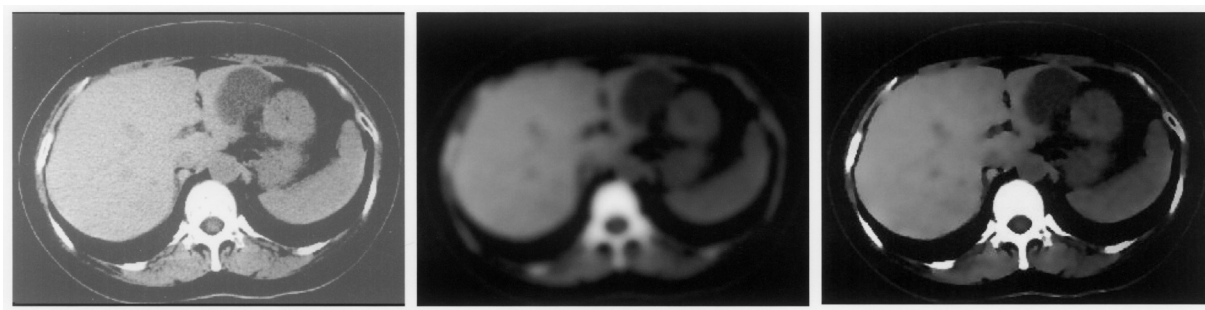


図1. (a) 原画 (b) 線形フィルタ (c) PM非線形フィルタ

参考文献 F. Voci, S. Eiho, N. Sugimoto, H. Sekiguchi: Estimating the Gradient Threshold in the Perona-Malik Equation, IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 21 No.5, pp39-47, 2004

上 田 義 勝（松本紘教授）

「Study on High Performance System of Plasma Wave Receiver for Satellite/Rocket Observations」

（衛星・ロケット観測用高性能プラズマ波動受信器に関する研究）

平成16年3月23日授与

科学衛星や観測ロケットに搭載されるプラズマ波動受信器は、宇宙空間におけるプラズマの振る舞いや、その磁場や電場との相互作用を観測する上で非常に重要な測定器の一つである。従来のプラズマ波動受信器は、アナログ回路中心の設計方式を採用しており、時間分解能・消費電力・重量などにまだ改良の余地があるため、新しい観測システムを開発、検討することは必須の研究事項として挙げられていた。本論文では、近年技術革新の著しいデジタル処理技術を用いることで、ソフトウェア制御方式を用いたプラズマ波動受信器の開発について述べた。また、本研究で開発したデジタル処理技術を更に応用することで、デジタル型波動粒子相関計測器について提案し、その設計と検討結果についても述べた。

2000年12月、ノルウェースヴァルバード諸島において、SS-520-2号機ロケット実験が行われた（図1）。本論文ではこのロケット実験用に開発したデジタル型プラズマ波動観測器について述べた。このロケット実験は、北極カスプ領域での重イオンの加速加熱機構を解明することを目的としており、我々は観測器の一つとして、プラズマ波動受信器（Plasma Wave Analyzer, 以下PWA）を開発した。PWAはソフトウェア制御方式のデジタル処理型波動受信器であり、電界波形を地上にリアルタイム送信するためのデータ圧縮アルゴリズム（約1/4に圧縮）や、高速に広帯域のスペクトルデータを得るためにPDC（Programmable Down Converter）を用いたデジタル型スペクトル観測機（掃引時間約450msec）など新しいデジタル処理方式を採用している。また、日本では初めて一対の電界モノポールデータを使用したインターフェロメトリタイプの観測も行うことが出来る。このロケット実験では、PWAは予定された処理プログラムは全て完全に動作し、全ての観測データを地上で受信することが出来た。

本論文では前述で開発したプラズマ波動観測器から得られた電界波形データ（図2）に関する解析を行った。極域でしばしば観測されるオーロラヒスと呼ばれる。本ロケット実験では、この波動の低周波数側にそれとは別の単色波が観測され、電子密度や背景磁場強度と比較することで、観測された波動が低域混成波（LHR）周辺の波動である事がわかった。また、先に述べた2軸の電界波形同時観測を用いることで、観測波形の偏波について調べ、着目する波動が静電波動としての性質を持つことを示し、インターフェロメトリ観測により波動の位相速度と波長について解析した。線形分散解析から、電子ビームで励起されるLH波動が、観測した位相速度、波長によく一致することを示し、昼間側極域周辺におけるLH波動励起機構モデルを提案した。

デジタル処理技術を応用することで、地上では不可能な高時間分解能での波形-粒子相関計測を機上で行うことができる。本論文ではFPGA（Field Programmable Gate Array）を用いて、機上で生成される波形データと粒子の観測パルスとの相関を直接デジタル的にとるシステムを設計・検討した。FPGAを用いることにより、チップ内で相関をとることができ、また、柔軟性に富んだ相関をとることができる。この設計により、デジタル型の「波動-粒子相関計」の開発を提案できるようになり、その試作器についての設計が完了した。

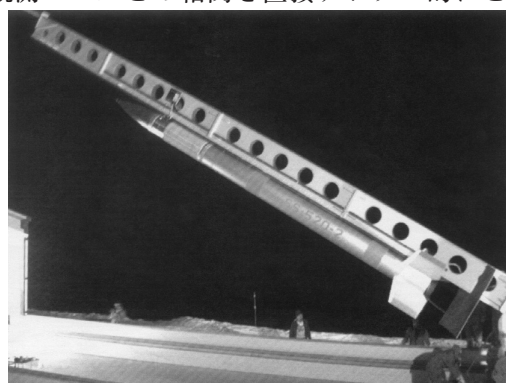


図1. SS-520-2号機ロケット
（ノルウェースヴァルバードにて）

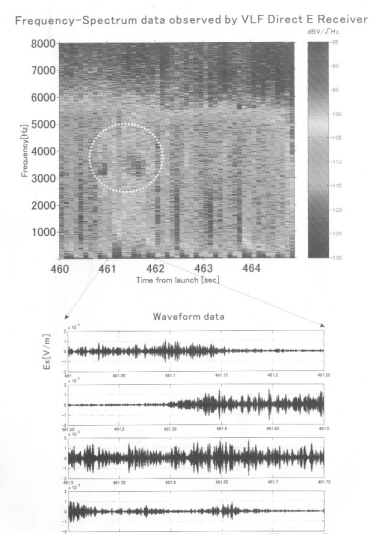


図2. PWAで観測された電界
波形とスペクトル

梅 田 隆 行 (松本紘教授)

「Study on Nonlinear Processes of Electron Beam Instabilities via Computer Simulations」

(計算機実験による電子ビーム不安定性における非線形過程の研究)

平成16年3月23日授与

宇宙空間で普遍的に存在する高エネルギー電子ビームは、背景の宇宙プラズマと相互作用して様々な波動を励起します。背景電子の温度及び電子ビームの密度により、電子ビーム不安定性は孤立した静電ポテンシャルを形成するケースと正弦波的なラングミュア波（電子プラズマ波）の乱流を励起するケースの2つへと発展します。両者とも実験室プラズマ中及び地球磁気圏内において観測されている現象であり、電子ビームの非線形挙動を理解することは、今後のより詳細な地球磁気圏の衛星観測により得られるデータを解析により電子ビームの発生領域さらには電子ビーム生成機構、宇宙プラズマ加速機構の解明する上で重要な情報となることが期待されます。本研究の目的は、宇宙プラズマ中の微視的非線形過程を研究するためのより高効率なシミュレーションコードを開発すること及び、電子ビーム不安定性の非線形過程についてより詳細な知見を得ることです。

本論文ではまず、電磁粒子コードと呼ばれる、個々の荷電粒子とそれら自身が作る電磁界との相互作用を解き進めるシミュレーションコードについて、省メモリかつ高速な計算アルゴリズムの開発を行い、計算時間の大幅な短縮に成功しました。また、個々の荷電粒子の運動を解く代わりに荷電粒子の速度分布関数の時間発展を直接解き進める数値ノイズのより少ないシミュレーションコードも開発しました。これらの研究成果により5年以上前にスパコンを用いて行われていた計算機実験のほとんどが、現在の個人所有のパソコンで実行可能になります。

図1は本計算機実験で得られたラングミュア高調波の分散関係です。実線は複雑な非線形理論より導かれた非線形分散曲線を表しますが、理論と計算機実験結果の非常によい一致が確認できます。これは、プラズマの非線形分散関係という新しい非線形理論を証明することとなりました。また図2は、GEOTAIL衛星で観測された宇宙プラズマ中の静電孤立波の励起を再現した計算機実験結果です。本論文ではさらに、孤立波が発生領域から遠方へと伝播していく過程での空間ポテンシャル構造の発展及び孤立波発生領域での波動特性などを明らかにしました。「計算機実験」は、非線形理論の証明や衛星観測・実験結果の再現（シミュレート）の手法のみならず、理論や観測結果のみでは解明できない複雑な物理過程を解明し得る強力かつ不可欠な研究手段であるという認識を強く持ちました。

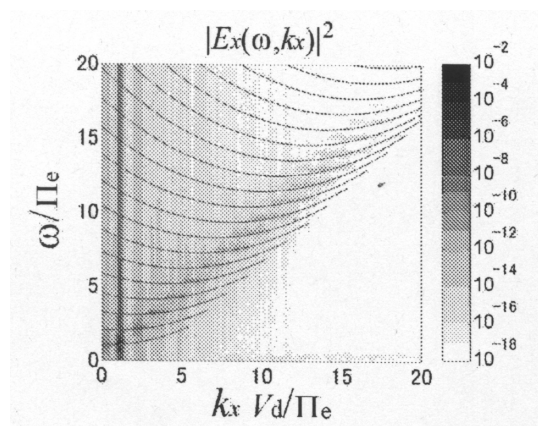


図1 ラングミュア高調波の周波数一波数スペクトル (実線は非線形理論分散曲)

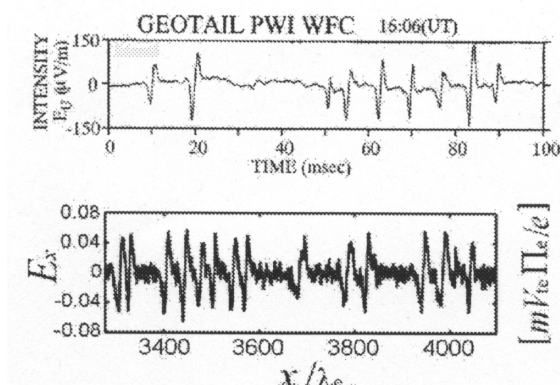


図2 GEOTAIL衛星で観測された孤立波（上段）とその計算機実験結果（下段）

武 市 統（松本紘教授）

「マイクロ波送電技術による小電力情報機器給電に関する研究」

平成16年3月23日授与

マイクロ波送電技術とは、マイクロ波を用いて離れた場所に電気エネルギーを伝送する技術です。本論文では、特にマイクロ波を利用した小さな電力の伝達に関する研究やそれらの応用研究を行った成果を取りまとめました。

電波を利用する技術には、同技術以外に無線通信技術がありますが、その大きな違いは、無線通信技術が情報を伝搬させることを重視していることに対して、同技術は送信した電磁波そのものをエネルギーとして受信し利用するためシステム全体の効率が高いことが要求されることにあります。したがって、同技術を利用したシステムの構築には、(1) 効率良くマイクロ波を発生させる送電部の高効率化、(2) 離れた受電箇所だけに電波を伝搬させるビーム形成、(3) マイクロ波を効率良く直流の電気に整流する受電部の高効率化、これら三つの基礎技術が不可欠でありその研究を行いました。更にそれらの応用研究は、内部にレクテナ（受電部）構造を持つ今後のユビキタス社会を支えとされるRFIDに着目し、RFIDへの給電を行うためのユビキタス電源を同技術により実現した場合の有用性を明らかにしました。

(1) 送電部は、小信号増幅用FETを用いた発振回路の開発ならびにそれらを用いた図1に示す発振器アレーの開発を行いました。発振器はコルピッツ回路を用いた極めて簡素な構造で、その効率は70%程で高効率を実現しています。発振器アレーは発振器間を帯域阻止フィルターで接続する新たな同期方法を採用入れて、同期の他に外乱に強いなど良好な特性を実現させています。

(2) 電波伝搬部は、アレーアンテナからパルス波を送信し鋭いビームが形成できることを明らかにしました。アレーアンテナの素子間隔を広げた場合、グレーティングローブ（GL）が生じるが、そのGLはパルス送電によって抑圧させられることを計算機シミュレーションにより実証しました。

(3) 受電部は、レクテナの高効率化および小型軽量化を行いました。回路型式は1素子全波整流回路を用い、基板はガラスエポキシ材質の0.25mm厚さ基板を使用し、図2に示す回路パターンを開発しました。効率と重量の両特性を評価する指標として重量・電力比を用いた結果、ブラウンが達成した1g/Wの記録を凌ぐ0.7g/Wを得ることに成功しました。

応用研究は、小電力情報機器（RFID）への給電に関する研究を行いました。RFIDの持つ課題の1つは読み書き機器からの操作距離が短いことであり、その解決方法として、補助的給電機器（チャージャー）を用いる新たな給電方法の提案及び廊下の自動認識システムへの適用を図る基本設計を行いました。廊下に配列させたチャージャーから連続波及びパルス波を送電させる計算機シミュレーションを行った結果、チャージャーから連続波を送電した場合よりもパルス送電を行う方法がチャージャー近傍を一樣に給電可能であることが明らかとなり、パルス送電方法がより良いと結論付けました。

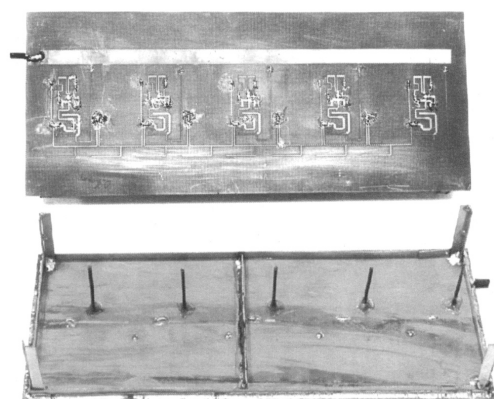


図1 発振器アレー
(上：パターン面、下：GND面とアンテナ)

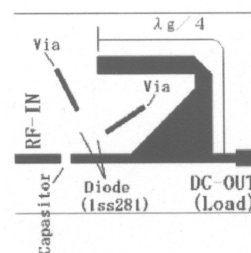


図2 レクテナ回路パターン
(最大効率63%)

手 柴 充 博（深尾教授）

「ウィンドプロファイラ観測に基づく台風の立体構造に関する研究」

平成16年3月23日授与

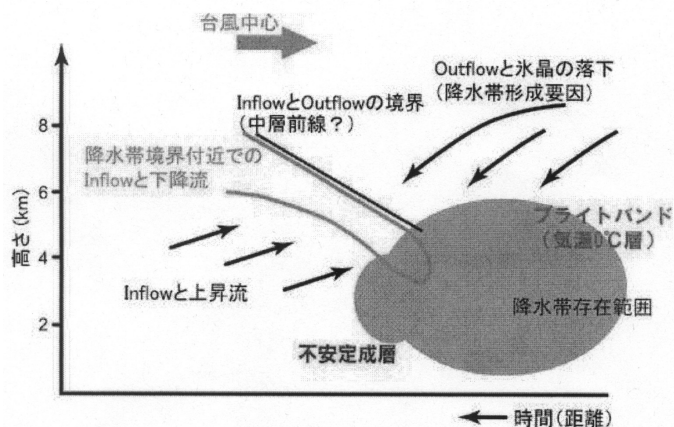
台風に関する様々な研究は古くから行われているが、数値モデルによる台風の強度や進路予報は未だ十分な精度が得られていない。この最大の要因は台風の立体構造が観測的に十分解明されていないことである。気象衛星観測は広域観測を可能にしたが雲に覆われた台風内部を観測することは出来ない。一方、気象レーダー観測には降水粒子のない台風眼域の観測が不可能である。また従来の観測器では台風のような様々な時間・空間スケールの擾乱が含まれる現象を時間・空間的に連続して観測することも不可能であった。

これに対して本論文は、大気からの散乱を受信できる大気レーダーを用いることにより、上述の観測的な困難の克服を目指すものである。用いたレーダーは京都大学MUレーダー、及び京都大学が開発した下部対流圏レーダー（ウィンドプロファイラ）を全国にネットワーク展開した気象庁の現業ウィンドプロファイラ網（WINDAS）である。まず一観測点で境界層から成層圏に至る高時間・高度分解能の連続的な風プロファイルを求め、次いでウィンドプロファイラ複数台を用いて空間的に密な風プロファイルを取得して、初めて台風の非軸対称構造を直接観測により明らかにした。

本論文により得られた主な成果は次の通りである。

1. 信楽MU観測所に接近した台風では、台風の渦循環に対して地形の摩擦が働くことによる水平風の変形、及び摩擦が働かない高度では絶対角運動量を保存する運動が維持されていることが観測的に明らかになった。
2. 一観測点での観測結果で、台風前・後面での非対称な風速分布は観測されていたが、複数地点による同時観測結果でも同様な台風前・後面での非対称性（動径風の下層での吹き込みや低気圧性回転の風が台風前面で強い）が示された。また、他の観測結果では示されていない、台風左・右側での非対称性、低気圧性回転の違いだけでなく、動径風の分布の違いについても初めて明らかにされた。
3. 台風のような広範囲にわたる降水分布を持つ擾乱について降水帯の分類を行い、それに伴う風速変動を示した。特に台風後面で発達した降水帯については、茨城県水戸市で突風を伴ったが、その降水帯の発達度合いと対流圏下層での動径風収束との関連があることが明らかとなった。また、台風北側象限でのメソスケール前線構造の存在が示され、この構造は他の研究結果と合わせると、台風の温低化に伴う温暖前線構造であることが分かった。
4. 台風に伴う降水帯の西側境界付近で見られた線状降水帯について、今まで観測が行われておらず数値モデルによる再現実験が行われたのみであった。これに対して今回観測データによる解析を行い数値モデルによる再現結果の検証を行った他、数値モデルでは再現できない微細構造を示した。（図）

以上、ウィンドプロファイラ観測による解析データに基づき、台風内部の非対称構造やメソスケール構造を初めて明らかにした。さらに、これらの観測結果を数値モデルにより再現することにも成功した。



図：降水帯西側境界での風速変動と降水帯との関係

横 山 竜 宏（深尾教授）

「A study of midlatitude ionospheric E-region irregularities with rocket/radar experiment and numerical simulation」

（ロケット/レーダー観測と数値シミュレーションによる中緯度電離圏E領域不規則構造に関する研究）

平成16年3月23日授与

地球を取り巻く大気分子や原子は、地表付近ではほとんどが中性粒子として存在しているが、高度60kmから約1000kmまでの領域では太陽からの紫外線放射を吸収することにより一部が電離した状態で存在しており、電離圏と呼ばれている。電離圏を通過する電波は電子密度の存在による電波屈折率の変化による遅延を伴う。従って電離圏内に電子密度の不規則構造（irregularities）が存在すると衛星通信やGPS等に用いられる電波は大きな影響を受けることになる。電子密度の不規則構造は種々のプラズマ不安定により引き起こされることが知られているが、その生成機構や予測手法は未だ充分明らかにされていない。本研究では京都大学MUレーダーで発見された、中緯度電離圏E領域（高度80～150km）に固有の不規則構造を対象とし、ロケット、レーダー観測、数値シミュレーションを用いてその特徴と生成機構を明らかにすることを目的とした。

中緯度電離圏の高度100km付近にスボラディックE（Es）層と呼ばれる、層厚が薄く電子密度が高い層が頻繁に出現することが知られている。特に夏期の夜間にこれに伴う急峻な電子密度勾配が原因となるプラズマ不安定が発生し、周期5～10分程度で発生と消滅を繰り返す特徴的なレーダーエコーが出現する。1996年と2002年に実施されたロケット／レーダー同時観測では、下図に示すようにレーダーでこの現象の出現をモニターし、現象の発生時にロケットを打ち上げるという実験を行った。ロケットで測定された電界は高度方向に波長10～15km程度の構造を持ち、同時に観測された電子密度やレーダーエコーの構造と特徴が良く一致した。電離圏内では電界は地球磁場に沿ってほぼ減衰することなく伝搬する。日本上空では地球磁場は約45°傾いていることから、Es層が水平方向に10～15km程度の構造を持つとき、この構造に伴って分極電界が高度方向の構造を形成することが示唆された。このEs層における分極電界の生成に関して数値シミュレーションにより定量的な検証を行い、観測された値と同程度の電界がEs層内で生成され得ることを示した。

Es層の水平構造を形成する原因として下層大気から上方へ伝搬する大気重力波が考えられる。大気重力波の伝搬を再現する中性大気のシミュレーションモデルと電離圏の分極電界を計算するモデルを組み合わせることにより、中性大気と電離圏の結合過程の検証を行った。その結果、ロケット観測で得られた電界の波状構造が良く再現され、生成されたEs層の水平構造も過去の観測結果と良い一致を示した。このことは下層大気の現象が電離圏に強い影響を与えていることを示唆している。

本研究により、中緯度電離圏における不規則構造の生成機構が明らかとなった。また中性大気と電離大気の結合過程に関する本シミュレーションは、下層大気や電離圏の異なる領域間にまたがる研究の重要性を示した。本研究の成果は、今後Es層による通信障害発生の予測等に寄与することが期待される。

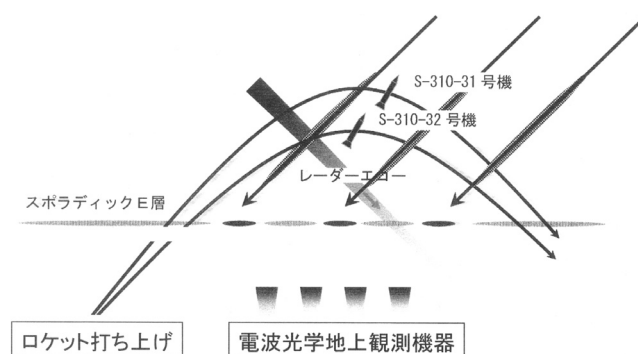


図 レーダー／ロケット同時観測の概観図

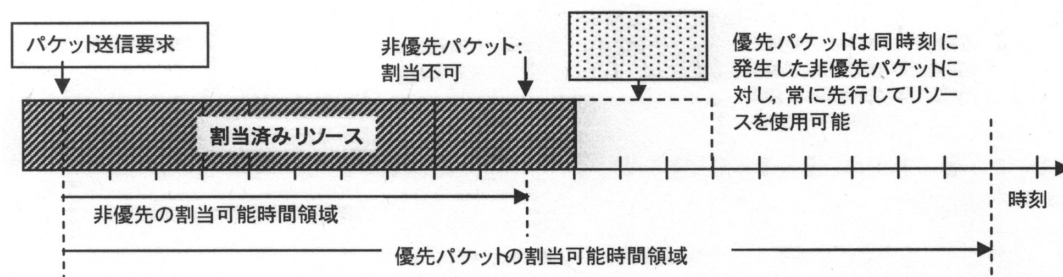
加 山 英 俊（吉田進教授）

「無線パケット通信方式のアクセスプロトコルの研究」

平成16年3月23日授与

〔研究の目的〕：インターネットの普及に伴い、携帯電話のインターネット接続サービスや無線LAN等、パケット無線を用いたサービス・製品が一般生活に浸透してきた。これらパケット無線では回線交換と異なり共通チャネル上でパケットが多重されるため、パケット同士の干渉（衝突）によるチャネル効率の低下が発生する。そこでパケットの衝突を回避し、効率を向上させるためのアクセスプロトコルに関する研究が、70年代頃から盛んに行われるようになった。本研究では(1) セルラーシステム、(2) マイクロセルラー、(3) マルチホップ無線LAN、(4) 高速CDMA パケット（第4世代）の4システムを対象とし、それぞれの条件に適合した高効率無線パケットアクセスプロトコルを明らかにする事を目的としている。

〔研究の成果〕：一般にランダムアクセスではチャネルに過度の負荷がかかった場合、スループットが極端に減少する問題がある。一方セルラーシステムでは基地局からの制御信号による端末のアクセス制御が可能である。そこで輻輳規制法としてトラヒック負荷及びチャネル状態（アイドル／ビジー）に応じて基地局が端末のパケット送信確率を適応的に制御する方法を提案した。シミュレーション評価を行った結果、トラヒック負荷に応じた制御によって過剰な衝突によるスループットの低下を防ぐと共に、チャネル状態を考慮した制御を組み合わせる事によってスループットのピーク値を向上させることができる事を明らかにした。次にPHSに代表されるマイクロセルラーについてであるが、この場合セルラーと大きく異なるのはチャネル設定毎に共用チャネルの中から未使用のチャネルを選択・使用するダイナミックチャネルアサインが用いられる事である。そこで回線交換と共存しながらパケット生起に合わせてパケットチャネルを設定する方式を提案し、その有効性をシミュレーションと実験により確認した。さらに無線LANにおいてはマルチホップの機能を用いてカバーエリアを広げる事ができる点に着目し、この場合の効率的なパケット転送方法について検討を行った。具体的には複数の周波数チャネルを用いる場合に各チャネルにかかるトラヒック負荷を均一化する方法、及びAP間の転送にポーリングを用いる方法を提案し、その有効性を明らかにした。最後に第4世代移動通信に適したアクセスプロトコルについて検討を行った。多重方法としてはCDMAパケット無線を想定し、CDMA伝送に必要な電力制御等を行いながら同時にパケット送信数を制御して所要CINRを満足すると共に、特に音声や画像などのリアルタイム通信を対象としたパケット優先機構（下図）を組み合わせたプロトコルを提案した。提案方式を上位レイヤの制御と組み合わせる事で、トラヒック変動によらず安定したスループットの維持と回線交換と同等のリアルタイム通信が実現できる事をシミュレーション及び実験により明らかにした。



Anass Benjebbour (吉田進教授)

「Efficient Signal Processing Techniques for MIMO Systems」

(MIMOシステムにおける高効率信号処理技術)

平成16年3月23日授与

研究の意義と内容: 本研究は無線通信MIMO (Multiple Input / Multiple Output) 伝送方式における高効率なデータ復号・チャネル推定技術に関する研究成果をまとめたものである。MIMO伝送方式では送受信側に複数のアンテナを用いる。送信側で異なったデータストリームを同じ周波数と時刻において異なったアンテナから並列に送ることにより、周波数利用効率が送信アンテナ数に比例して増加する。MIMO伝送方式を利用することによって無線伝搬路上でもGbps台の高速伝送の実現が期待されている。しかし、本方式の実現まではいくつかの課題が残る。MIMOシステムではパフォーマンスが伝搬路の性質と受信側の処理に大きく依存する。特に、受信側で複数のストリームが混信しながら受信されるため、伝搬路の情報を用いてマルチストリームの分離、復調が必要となる。さらに、マルチパス環境では、受信側でマルチパス処理も必要となる。送信ストリーム数・チャネルのパス数が増加するに連れて、受信機の演算量が膨大なものになる。近年、効率的なマルチパス対策として、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) とMIMOを組み合わせた技術が注目を集めている。本研究ではMIMO技術をマルチストリーム復調の観点から、またMIMOをOFDMと組み合わせた場合についてチャネル推定の観点から取り上げた。具体的に、マルチストリーム復調については順次復号方式 (Successive Detection)、チャネル推定についてはMIMO-OFDMのチャネルトラッキングの簡略化と性能向上について検討した。マルチストリーム復調方法として順次復号方式に着目した。この方式は最適受信機に比べて比較的演算量が少ないが特性が劣っている。そこで特性を改善させるために、情報ストリームを適切なメトリックにより順序づけする。これを順序付け順次復号OSD (Ordered Successive Detection) と呼ぶ。OSDをMMSE (Minimum Mean Square Error) とZF (Zero Forcing) 基準について検討する。以下ではそれぞれの方式をOSD (MMSE) 及びOSD (ZF) と表記する。最初に、OSDにおける順序付けの効果について解析した。その結果、OSD (MMSE) がOSD (ZF) より優れた特性を示しているのはMMSEウエイトがZFウエイトに対して優れているためであり、順序付けの違いが基本的には関係していないこととノイズ強調の低減が順序付けの効果を発揮するために重要であることを示した。次に、OSDの演算量削減法について検討した。順次復号受信機において混信したM個のストリームを分離するには受信信号の相関行列の逆行列を求める必要がある。これを直接求める方法 (Direct法) と逐次的に求める方法 (Adaptive法) が考えられるが、直接求めるDirect法の場合には演算量がMの4乗オーダーとなるが、ウエイト生成の精度が良いほかに順序付けの更新が簡単に行える利点がある。これに対して、逐次的に求めるAdaptive法の場合には演算量をMの3乗に抑えることができるが、ウエイト生成の精度が劣化する他、順序付けの更新が不可能である。本研究では、これらのウエイト生成をうまく組み合わせたSemi-Adaptive法を提案している。これにより特性を劣化させることなく演算量を4乗から3乗オーダーまで削減することが可能となった。最後に、MIMO-OFDMシステムにおいて低演算量で高精度なチャネルトラッキング法を提案した。提案の方式は従来の方式より特性が優れている上に、PSKとQAM変調のどちらの場合でも適用可能である。

研究を通しての感想: 本研究を通じて、研究の面白さと難しさを肌で覚えた。研究を成し遂げるためにはいろいろな問題に対するチャレンジ精神と自分が選んだ道に対する信念が重要だと感じた。強い精神とかたくなな信念で、常識の範囲を超えて不明な領域に足を踏み出すことができる。なお、研究はたどり着く先がわからない、しかし、計画を立てることが重要である。当初に立てた計画と違い、途中でいろいろなハプニングが起きる。なお、面白いことには立てた計画よりもこれらのハプニングへの対応がほとんど研究成果の手がかりになる。これは人の一生と似た過程である。これを教えてくれたのは研究である。

郭 賢 善 (吉田教授)

「Study on Access Protocols for Multi-hop Wireless LAN」

(マルチホップ無線LANのアクセスプロトコルに関する研究)

平成16年3月23日授与

近年、近距離無線通信技術の著しい進展に伴い、いつでもどこからでもきわめて容易にインターネットに接続し、必要な情報を送受信することが可能になってきた。なかでもIEEE802.11a/b/g規格に代表される無線LANは、煩わしい配線が不要で電波が届く範囲であれば誰でも容易に高速インターネットアクセスが可能な手段として注目を浴びている。本論文では主としてIEEE802.11規格に含まれているアクセスポイントによる集中制御（ポーリング）を仮定したPCFモード、および時分割制御を用いたHiperLAN/2の2種類の無線LANプロトコルを取り上げている。一方、身の回りの多数の機器に無線通信機能が搭載されるに伴い、全機器を集中制御するのではなくて、機器同士が臨機応変に自律分散的に通信ネットワークを構成するいわゆるアドホックネットワークが注目されつつある。そこでは、情報をバケツリレーの原理を用いて固定の通信インフラを用いなくて伝送可能なマルチホップ接続が用いられる場合が多い。マルチホップ接続は、特に既存のネットワークのサービスエリアを広げるのに有効であるほか、建物や什器等により電波が遮蔽（シャドウイングと呼ばれる）されて受信信号強度が劣化し、アクセスポイントと直接通信できない場合にも近くにいる端末に中継を依頼することによりアクセスポイントと通信が可能になる利点がある。しかしながら、一般にマルチホップネットワークでは、同一情報を多段中継するためにホップ数に反比例してスループットが落ちるほか、周波数利用効率も劣化する。そこで、スループットの低下を補償するために空間的に周波数を再利用することを考え、周波数利用効率の劣化を補償するとともにさらなる改善の可能性について検討している。すなわち、本論文では、将来このマルチホップ技術が無線LANに導入される可能性に鑑み、マルチホップ無線LANの性能改善につながる新しいアクセスプロトコルや、空間的な周波数の再利用を導入した場合のスループット特性、さらには全体スループットとマルチホップ端末毎のスループット公平性との間のトレードオフについて研究を行いその基本的な特性を解明している。得られた主な研究成果は次の通りである。

- (1). ビジートン信号を活用して空間的な周波数の効率的な再利用を実現する方式を提案し、IEEE 802.11の集中制御型のプロトコルPCFの上りリンクのスループット特性の改善量を明らかにした。
- (2). HiperLAN/2のプロトコルを仮定し、各端末で受信した受信電力レベルから計算されるCIR（所望信号対干渉信号電力比）を利用して、周波数の空間的な再利用を実現する方式を提案し、上りリンクのみならず下りリンクの特性の改善量を明らかにした。また、シャドウイングの影響について検討し、シャドウイングにより、特性の改善量がさらに増加することを明らかにした。
- (3). 計算機シミュレーションのみならず理論的な解析により、空間的な周波数再利用の有効性を明らかにした。即ち、提案方式を利用することにより、無線LANのサービスエリア内では約20%の性能改善をはかることができた。また、隣接した無線LANのサービスエリア間では最大2倍の性能の改善が得られることを明らかにした。その結果、ネットワーク条件によっては、空間的な周波数の再利用により、マルチホップネットワークのほうがシングルホップネットワークよりも優れた性能が得られる場合があることを示した。
- (4). マルチホップネットワークは、シングルホップネットワークと異なり無線資源の配分方法が複雑である。全体のスループットを優先すると端末間の不公平性が増す。ホップ長が異なる端末間の公平性を優先すると全体のスループットが低下する。そのトレードオフについて明らかにするとともに、一定の無線資源を公平に配分し、残りをスループット優先に配分する方式を提案した。

伊藤京子（吉川榮教授）

「エネルギー・環境教育のための電子ネットワークコミュニケーションに関する研究」
平成16年3月23日授与

持続可能な社会に向けて、エネルギー消費量の見直しや二酸化炭素排出量の削減などエネルギー・環境問題への人々の問題意識を高めることは重要である。その方法として、学校教育、社会教育が重要だといわれているが、現状では、エネルギー・環境問題を学ぶための適切なカリキュラムや方法論は確立していない。また、日々進歩する科学技術と関連の深いエネルギー・環境問題の教育手法として、単なる知識の詰め込みでは不十分だといわれており、単方向の情報の流れにより、人々の問題意識を高めることは困難である。

そこで、本研究では、エネルギー・環境問題に対する問題意識を高める手法として、双方向の知識や情報の交流に着目し、相互交流を通じてエネルギー・環境問題に対する問題意識を高めるためのコミュニケーション支援手法に関する研究を行った。本研究では、近年、爆発的に普及した電子ネットワークに着目し、エネルギー・環境問題を話し合うための、電子ネットワークを用いたコミュニケーション支援手法を検討した。エネルギー・環境問題の特徴を捉え、これらの問題に適した電子ネットワークを用いたコミュニケーション支援手法を検討することにより、21世紀の時代に適した、利便性が高く効率のよい方法を用いて、エネルギー・環境問題に対する問題意識の向上や動機づけが期待できる。

具体的には、電子ネットワークを利用した情報の提供方法やコミュニケーション支援の要素技術などを検討した後、エネルギー・環境問題に対する問題意識を高めるためのコミュニケーション支援手法の提案を目指し、以下の3つを研究課題とした。

(1) エネルギー・環境問題の社会教育への電子ネットワークコミュニケーションの適用として、エネルギー・環境問題に特別関わりのない一般の人々が、エネルギー・環境問題に対する興味や関心を深めるために、インターネット上で活発に議論する場を提供する手法の提案

(2) エネルギー・環境問題の学校教育への電子ネットワークコミュニケーションの適用として、単なる話し合いから発展させ、エネルギー・環境問題の内包する利便性・経済性と自然環境・エネルギーのどちらをどの程度重要視するかというジレンマを多角的に捉え、問題意識を深めるための学校教育を対象とした議論支援手法の提案

(3) エネルギー・環境問題の専門教育への電子ネットワークコミュニケーションの適用として、エネルギー・環境問題に関して学習した知識を利用し問題を多様な観点から捉えるための専門教育を対象とした議論支援手法の提案

以上、本研究では、エネルギー・環境問題のための新しいソフトウェアの開発と、開発したソフトウェアを利用して実際にフィールド実験を行ってそれらの機能と効果を確認し、エネルギー・環境問題の社会教育、学校教育、専門教育のための有用な電子ネットワークコミュニケーションの適用方法を提言し、このような電子ネットワークコミュニケーションが、エネルギー・環境教育に有効であり、エネルギー・環境問題への意識の向上、ひいては、持続可能な社会の構築につながることを示した。

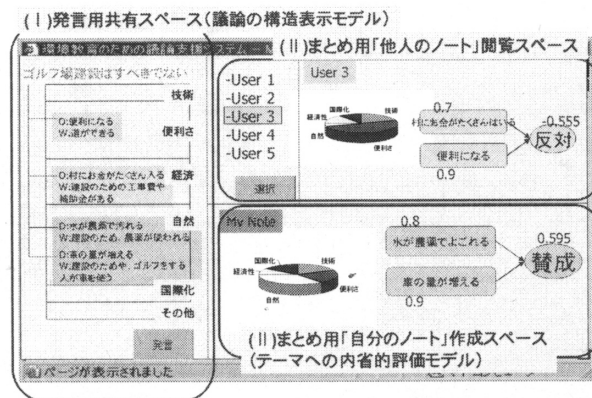


図1. 提案手法に基づく議論支援システムのユーザ
インタフェース画面設計

小澤 尚久 (吉川榮教授)

「新しい人間情報行動計測法とプラント運転教育の計算機支援への応用に関する研究」 平成16年3月23日授与

本論文は、プラント運転に関わるヒューマンインタフェースにおいて、人間の内面的な情報行動を"追跡し"、"推定し"、"模擬する"新しい人間情報行動計測法を提起した。そして、提起した手法をプラント異常診断技能の教育訓練支援システムの構成要素に適用して、実験によりその効果的な応用法を考察した結果を纏めたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

(1) 人間の内面的な情報行動を追跡し、推定し、模擬する手法として、それぞれ「人間の注視点位置の検出」、「プラント異常診断の思考過程の推定」、および「プラント診断思考を模擬するヒューマンモデルシミュレータ」を新たに提起することともに、これらを実時間処理するシステムを開発した。

(2) 眼球や瞳孔の運動を計測できるEye-Sensing Head-mounted Display (ES-HMD) を利用した瞳孔中心位置検出方法、視点位置較正法を新たに提案し、リアルタイム処理システムを開発した。そして、被験者実験による評価で、従来手法に比べてノイズに対するロバスト性と視点位置の予測精度の向上を確証した。

(3) 「パラメータ因果関係図」と名づける運転員のプラント異常診断に用いる知識モデルを考案するとともに、発話の自動認識と(2)の注視点情報を利用して、運転員の異常診断タスク遂行中の思考過程をリアルタイムで推定し、かつその推定した異常事象の根本原因の「確信度」を推定する手法を提案した。そして、この手法のリアルタイム処理システムを開発し、被験者実験を通して手法の有効性を検証した。

(4) 専門知識を有する被験者の行動データから、プラント運転員が机上教育をもとに構成するプラント異常診断用知識モデルとそれを用いた思考形式を導出し、これらをもとに運転員の診断行動を模擬するヒューマンモデルシミュレータを開発した。さらに、このシミュレータによる診断の信頼度をDempster-Shafer証拠理論を適用して網羅的に検討する計算機シミュレーション実験を行った。その結果、単一故障の場合には人間の異常診断の信頼性は保証されるが、プラントの制御系が複雑に相互干渉する場合や多数のプラント計装値が斉時的に変動する場合には、机上学習により修得したプラント知識だけでは異常診断の信頼性は保証されないことを指摘した。

(5) 上記の(2)から(4)に示した3つの人間情報行動計測手法を、プラント運転教育の計算機支援に適用し、熟練者がネットワークを介して初心者にプラントの異常診断知識を効果的にマンツーマン教育できる実験システムを構築した。さらに、このシステムを用いて、実機プラントの当直長経験者を招聘した実験を行い、熟練者が初心者の内面状態を把握するためには、特に視点位置と思考発話の情報提供が有効であることを確認した。

以上、要するに本論文は、人間と機械システムの調和への「人間中心の自動化」を志向し、その要素技術としての人間情報行動計測法の開拓において、インタフェースにおける人間情報行動を追跡するための視点位置計測法、人間情報行動を推定するための注視点情報と発話情報を組み合わせた思考過程の自動推定法、人間のプラント異常診断行動を模擬するヒューマンモデルシミュレータを提起し、それぞれのソフトウェアの有効性を実験によって確認したもので、これらの成果は、ヒューマンマシンシステム高度化の観点から、学術上、實際上、資するところが大きい。

森 本 慎一郎（吉川榮教授）

「CO₂削減型グローバルエネルギーシステムの総合的評価に関する研究」

平成16年3月23日授与

地球温暖化に対する懸念や、日本におけるエネルギー供給構造の脆弱性から、環境保全に対応しつつエネルギーの安定供給を実現する事は日本にとって最も重要なエネルギー政策となっている。本論文は、環境保全に対応しつつエネルギーの安定供給を実現することを目指して提案されたCO₂グローバルリサイクルシステム（以下、C-GRSと呼ぶ）の経済性向上を目的としてシステム設計および最適化を行い、さらにC-GRSの導入可能性を評価する新しい評価手法について研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. C-GRSを構成する要素技術の一つであるCO₂分離回収・液化システムについて、膜分離法を用いたCO₂分離回収・液化システムのシステム設計および最適化を行い、現在実用化されている方式より、膜分離法CO₂分離回収・液化システムによって構成されるC-GRSは経済性の向上が期待できることを定量的な根拠のもとに示した。

2. C-GRSを構成する要素技術の一つである水素製造システムについて、天然ガス水蒸気改質型水素製造システムについて非平衡反応系に基づくシステムの提案およびシステム解析を行った。その結果、提案システムは改質反応後のガスからCO₂を分離しない場合は工業的に成立せずC-GRSを構成する要素技術として妥当でないものの、天然ガス水蒸気改質型水素製造システムの経済性向上を目指すならば、実用可能性の高いシステムとなることを定量的な根拠のもとに示した。

3. C-GRSの各評価指標に大きく影響を与えるシステム運転条件としてCO₂分離回収・液化システムにおけるCO₂回収率と圧力比および水素製造システムにおける電流密度を選定し、これらについて全体システムの挙動を考慮した各種評価指標に対する最適運転条件を算出した。さらに全体システムの最適化を行う場合、メタノールコストが最小となるように運転条件を設定することが最も効果的であるという、C-GRSの経済性向上に効果的なシステム運転条件設定のための指針を得ることが出来た。

4. C-GRSの基本概念は活かしつつ自然エネルギーの種類およびメタノール合成のための炭素源を調達するサイトについて工夫して設計した風力・バイオマス利用型システムは従来型発電からのCO₂分離回収を行う場合と比べて、CO₂削減の費用対効果の上で十分に競合しうることを示し、C-GRSについてCO₂削減の費用対効果の上で経済的に実用可能性の高いシステム構成を見出すことが出来た。

5. 従来型エネルギー供給システムとの比較によりC-GRSの導入可能性を評価するためにエネルギー安定供給のリスクを定量評価する新しい評価指標として「航行障害リスク」に着目し、その新しい評価手法を開発した。航行障害が発生する「航行障害シナリオ」を専門的分析者のブレインストーミングにより抽出して、イベントツリー解析（ETA）手法を基にしてそれぞれのシナリオの発生する主観的確率を導出するとともに、シナリオ発生抑制政策を評価するまでの一連の評価手法を実際に実施することで、その有効性を示した。

本論文ではC-GRSの外部性評価を行うための新たな評価指標を提案したが、今後は外部性評価を行うための主観を抽出する合理的な手法の開発を中心に、研究を発展させていきたいと思っている。

川 染 勇 人 (近藤教授)

[Spectroscopic Study of Neutral Hydrogen Atoms in Helical Plasmas]

(ヘリカルプラズマ中の中性水素原子の分光学的研究)

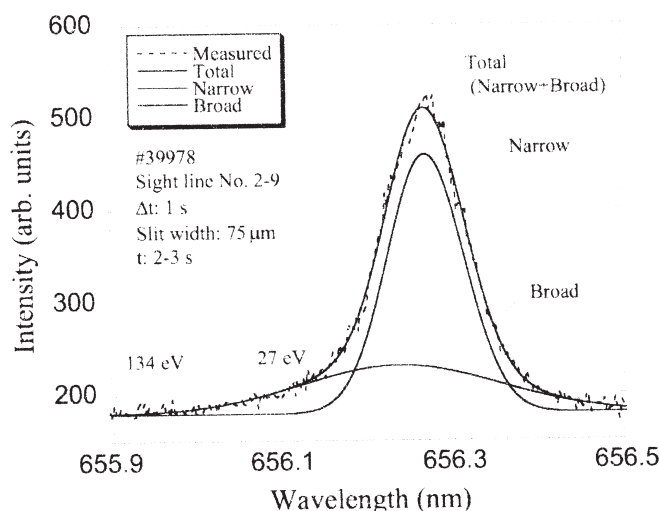
平成16年3月23日授与

磁場閉じ込め方式による核融合炉の実現には、高温、高密度のプラズマを生成し長時間維持しなければならず、プラズマ中の不純物及び中性水素原子の制御が必要となる。本研究の目的は、ヘリカル系装置における不純物及び中性水素原子の挙動を分光学的手法により明らかにすることである。実験は、京都大学エネルギー理工学研究所のヘリオトロンJ装置と文部科学省核融合科学研究所の大型ヘリカル装置で行った。ここでは、大型ヘリカル装置でのH α スペクトルプロファイルの測定について報告する。水素原子の挙動を理解するうえで重要なパラメーターの一つとして、その速度分布を挙げることができる。水素原子は主に周辺領域に存在しており、速度分布から水素原子の閉じ込め領域への浸入長を評価できる。また、発光に寄与している原子の原子・分子過程に関する情報も含んでいる。本研究では詳細なH α スペクトルプロファイルを測定するために、高分解能エッシェル型可視分光器システムを構築した。分光器システムの絶対波長較正は、永久磁石による1.13 Tの磁場中での水素及び重水素によるホロカソード放電を光源として行った。得られた逆線分散は、0.1nm/mmであり高分解能を実現できた。大型ヘリカル装置の周辺プラズマ領域において測定されたH α スペクトルプロファイルを図に示す。測定されたスペクトルプロファイルは中心波長に対して左右非対称であり、高温 (Broad) と低温 (Narrow) の二つのガウシアン成分に分解することができた。これは、水素原子の速度分布が空間的に一様でないことを示している。高温、低温成分の温度はそれぞれ29.0eVと4.0eVであり、中心波長は共に短波長側にシフトしている。また、スペクトルプロファイルの短波長側の裾野に対する水素原子の運動エネルギーは27~134eVであり、エネルギーの高い水素原子が存在することが分かる。測定視線との関係より短波長側のシフトは周辺領域から閉じ込め領域に向かって移動する原子が寄与していることが分かった。低温成分の温度はフランク・コンドンエネルギー程度であり、分子からの解離により発生した原子からの発光であることが分かった。一方、高温成分は真空容器の壁面やプラズマ対向材で反射した原子及び荷電交換反応により生成された原子からの発光であることが分かった。特に高温成分は、閉じ込め領域からの磁力線がプラズマ対向材に当たる位置において発光強度が強くなること確認し、高温成分にはプラズマ対向材で反射した原子からの

600

----- Measured
----- Total

Total



大型ヘリカル装置で測定されたH α スペクトルプロファイル

岡 野 誠（野田教授）

「3次元フォトニック結晶光共振器及び光導波路に関する理論解析」

平成16年7月23日授与

3次元フォトニック結晶（3D PC）は全方向に対する光の伝播を禁止する周波数帯域、フォトニックバンドギャップ（PBG）を形成することが可能であり、工学的のみならず、物理的観点からも注目を集めている。本論文は、3D PC内に点状、線状欠陥を導入することにより形成される点欠陥共振器及び線欠陥導波路に関する理論解析を目的としている。本研究により得られた主な成果は以下の通りである。

（1）電磁界解析への群論の導入

群論を用いたモード分類法が電流源（および磁流源）を含む時間領域のMaxwell方程式に対して適用可能であることを明らかにした。モードを分類し、それぞれを別個に取り扱うことで、解析を大幅に簡便化することができる。時間依存項を $\exp(i\omega t)$ とおいた周波数領域での群論の定式化は既に報告されていたが、電流源を含む場合、及び時間領域に対する群論の定式化は、本研究により初めて成されたものである。本方法は、フォトニック結晶解析のみならず、一般の時間領域電磁界解析に対しても適用可能な方法である。

（2）3D PC点欠陥共振器の理論解析

3D PC中に点状欠陥を導入（余分な誘電体を付加）することにより形成される共振器に関して、平面波展開法、時間領域差分法を用いて解析を行い、点欠陥の形状、位置を工夫することにより、シングルモード共振器が実現可能であることを示した。この共振器を用いることにより、無閾値レーザの実現が期待される。さらに、3D PCの周期数が有限である場合の共振器のQ値について解析を行い、実際のデバイス実現のために必要とされる周期数を明らかにした。また、解析においては、筆者自らが作成した並列計算プログラムを用いることにより、3次元電磁界解析における計算時間を大幅に削減させた。

（3）3D PC点欠陥共振器と線欠陥導波路の結合解析

線欠陥導波路を用いて、点欠陥共振器内の光を取り出す方法について解析を行った。点欠陥モード、線欠陥モードの対称性が異なる場合には、両者が結合しないことを示した後、構造に非対称性を導入することで、結合状態が形成されることを明らかにした。本解析は、点欠陥共振器レーザを3D PC超小型光回路用の発光デバイスとして使用することを想定したものであり、超小型光回路の実現に対して重要な役割をもつ。

以上、本論文は、3次元フォトニック結晶点欠陥共振器及び線欠陥導波路に関して解析を行うと共に、新たな電磁界解析手法を提案するものであり、当該分野に大きく寄与するものと期待される。

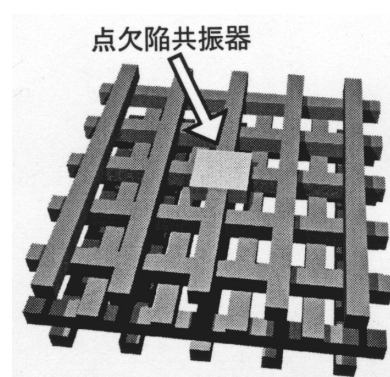


図1 3D PC点欠陥共振器（欠陥層を被う3D PCを除いた図）

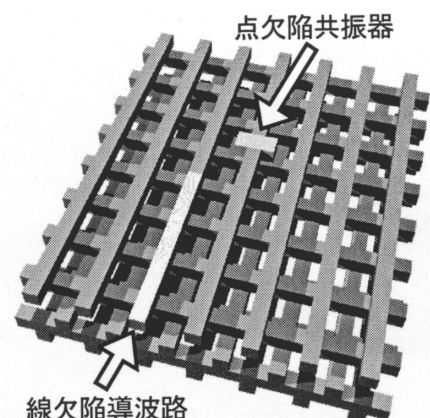


図2 3D PC点欠陥共振器と線欠陥導波路の結合構造

太 田 裕 朗 (近藤教授)

「Molecular dynamics simulation of the plasma-surface interaction during plasma etching processes」

(プラズマプロセスにおけるプラズマ-表面相互作用の分子動力学計算による研究)

平成16年7月23日授与

U L S I などの半導体デバイス製造工程において、プラズマを用いるドライエッチングは微細加工技術として重要な役割を果たしている。この際用いるプラズマは化学反応性を有しており、このようなプラズマと表面との相互作用は十分には理解されていない。本論文の目的は、古典的分子動力学法を用いた数値シミュレーションにより、プラズマ-表面相互作用を原子レベルで理解することである。

古典的分子動力学シミュレーションを行うためには、原子間相互作用ポテンシャルが必要である。本研究では、これを構築するための方法を検討し、従来からある手法の拡張と新しい方法の開発とを両方行った。また、ここで行った手法は、Gaussianなどの量子化学計算によるデータをもとにポテンシャル関数を構築するものであり、その意味で第一原理的である。具体的には、ハロゲンによるSi/選択エッチングのシミュレーションを行うためのSi/O/F系およびSi/O/Cl系のモデルと、 CF_x ビームによる SiO_2 エッチング過程についてシミュレーションを行うためのSi/O/C/F系のモデルを新たに開発した。これらによって、Si系デバイスのドライエッチングを同じ枠組みで一通りシミュレーションすることが可能になった。計算結果として得られるエッチレート等は、実験と定量的にもよい一致を得ている。定性的な結論としては、反応特性は原子間の結合の強さと原子の大きさによって決まることが明らかになった。實際上重要な役割を果たすラジカルの影響も部分的にシミュレーションに組み込まれ、定性的な解析がなされた。 CF_x ビームによる SiO_2 エッチング過程についてシミュレーションについては、分子間力を無視することができないことが明らかにされ、これを導入することでアモルファスC:F膜の堆積過程を再現することに成功した。エッチレート等を求め最新のビーム実験との比較を行って、モデル・結果が妥当であることを確認し、さらに、エッチレートに関する経験則を求めるなど、現状で複雑で困難とされる SiO_2 エッチング機構の解明に貢献する知見を与えた。また、エッチング過程と堆積過程が競合する反応過程をシミュレーションで再現したことは非常に大きな成果といえる。

このように、本論文ではプラズマ-表面相互作用を数値シミュレーションによって理論的に研究する手法を確立し、これを用いた解析によって、Siおよび SiO_2 ドライエッチングの反応機構を原子レベルで理解する知見を与えた。これらの方法は今後微細加工技術の発展のために有用なものであり、さらなる発展が期待される。

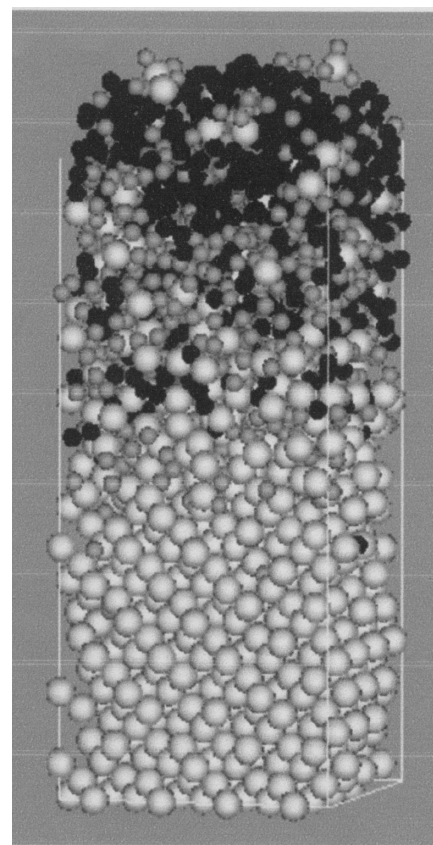


図 CF_x ビームによる SiO_2 エッチング過程についてシミュレーション例。入射イオンが低エネルギーである場合であり、表面に堆積が見られる。黒色は炭素、灰色はフッ素、白はシリコン(大)と酸素(小)である

武 田 和 雄（近藤教授）

Intermittent Thermal Transport Generated by Ion Temperature Gradient Driven Turbulence

（イオン温度勾配駆動乱流により生じる間欠的な熱輸送）

平成16年7月23日授与

磁気閉じ込め核融合の研究において、プラズマに生じる微視的乱流とそれがもたらす異常輸送の理解と制御は重要な課題の一つであり、現在精力的に研究が続けられている。

本研究では、トカマクプラズマに生じる微視的乱流の一種である、イオン温度勾配（ITG）駆動乱流により生じる異常輸送を数値計算により解析した。イオン温度勾配 K_i が十分大きく、系が強乱流状態にあるとき、熱輸送が間欠的に大きくなる現象が観察された。このような現象が生じる K_i 領域において、ヌセルト数（規格化された熱流束） N_u の K_i 依存性を調べると、図1に示されるように $N_u \propto K_i^{1/3}$ のスケーリング則が得られた。これは中性流体におけるレイリー・ベナール対流による熱輸送のスケーリング則 $N_u \propto Ra^{1/3}$ と同様である。ここで、 Ra はレイリー数であり、ITG乱流においては、 $Ra \propto K_i$ となる。このことから、トカマクプラズマに生じる乱流の性質が熱対流のそれと類似している可能性が示唆された。

このような現象が生じる物理機構を調べるため、勾配方向（トカマクの半径方向に相当）のダイナミクスと準線形効果を取り入れた1次元のモデルと、最も不安定ないくつかのフーリエモードのみを抜き出した少数自由度モデルの計算を行った。1次元計算から得られるヌセルト数のスケーリングは上述の結果ととても近い結果が得られている。このことから、ITGモードの非線形相互作用により生じる帯状流とそれによるITG乱流の抑制機構は、勾配方向のダイナミクスにより、その性質の多くが決まることが分かった。少数自由度モデルの計算から、各フーリエモードの持つ運動エネルギーの時間発展が図2のように得られた。図において、(a) 全運動エネルギー、(b) シアー流のエネルギー、(c)、(d)、(e) は各フーリエ成分のエネルギーを示している。この図から、系の間欠性がITG乱流とシアー流との相互作用により生じている様子がよく分かる。

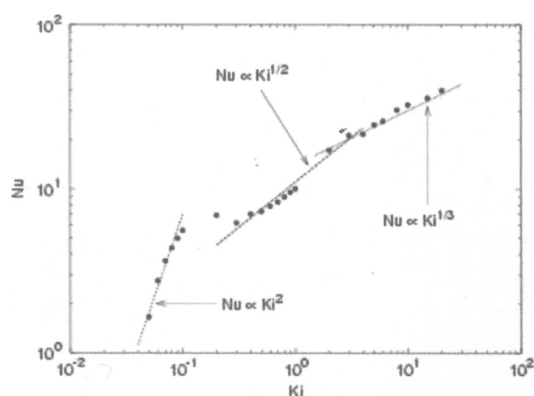


図1：イオン温度勾配 K_i に対するヌセルト数 N_u のスケーリング

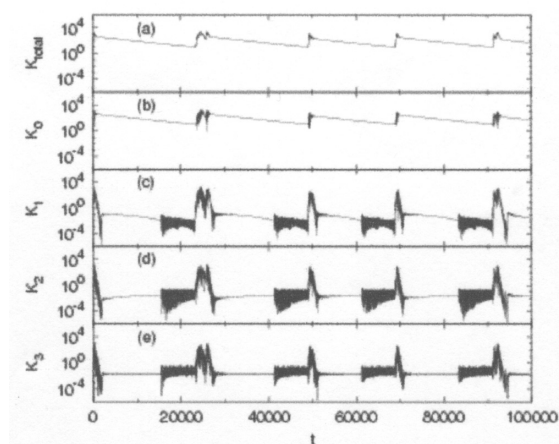


図2：少数自由度モデルから得られた運動エネルギーの時間発展

杉 立 厚 志 (野田教授)

「二次元フォトニック結晶線欠陥レーザに関する研究」

平成16年9月24日授与

この論文は、半導体レーザや微小共振器レーザの高機能化を目的とし、さらに将来の光集積回路への適用を視野に入れ、二次元スラブフォトニック結晶線欠陥と活性媒体を組み合わせた超小型レーザに関する研究成果をまとめたものです。

フォトニック結晶とは、周期的な屈折率分布構造を持つ新たな光材料であり、近年大きな注目を集めています。その特徴として、特定の波長の光に対して、その存在そのものを許さない光の禁制帯（フォトニックバンドギャップ）をもつこと、また、光の従来材料では得られない高い分散特性をもつことが挙げられます。このフォトニック結晶に周期の乱れ、すなわち欠陥を導入することで、フォトニックバンドギャップ中に特定の光を局在させることが可能となります。

本研究で取り組んだレーザは、二次元薄膜（スラブ）構造による屈折率光閉じ込めと、二次元面内の屈折率周期構造によるフォトニックバンドギャップ光閉じ込め、とを利用した二次元スラブフォトニック結晶を基本構造とします。この二次元フォトニック結晶の周期構造に線状の周期構造の乱れ、つまり線欠陥を形成して図1に示す二次元フォトニック結晶線欠陥レーザを作製しました。二次元スラブフォトニック結晶により図2に示すフォトニックバンドギャップが形成され、さらに線欠陥モードはそのバンドギャップ帯域内に線欠陥モードを形成します。バンド構造図は光の波数と周波数の関係を表わすためモードの傾きが光の群速度を示します。3次元時間領域差分法を用いた解析により、線欠陥導波路モード端における群速度零に起因してレーザ発振することを明らかにしました。

この原理に基づき、量子井戸活性層をスラブ構造内部に形成したデバイスを作製し、世界で初めてレーザ発振しました。その結果を図3に示します。

更に、線欠陥共振器の線欠陥幅を僅かに変化させることでレーザ発振波長を大きく変化させることが可能であることを見出し、微小共振器としての特質と組み合わせて、超小型波長可変レーザへの展開可能性を示しています。また、本レーザに点欠陥を集積してレーザ光を垂直方向に取り出すことにも成功しました。

これらのレーザ発振成果はすべて光励起により実現していますが、実用化への重要なステップとして電流励起による二次元フォトニック結晶線欠陥レーザの取り組みも行いました。温度特性に基づいた発熱解析や、スラブ内電流シミュレーションを行うとともに、実際のデバイス作製検証を行うことに成功しました。

本研究は、光を自在に制御することの可能なフォトニック結晶と活性媒体を組み合わせた新たな超小型高機能レーザの実現に成功した結果であり、将来の光集積回路の発展の重要な基礎になるものと考えています。

最後にお世話になった多くの先生方に感謝の意を表し、論文紹介の締めくくりと致します。

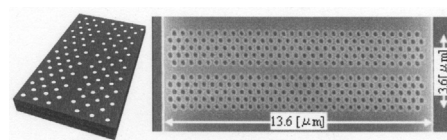


図1 二次元スラブフォトニック結晶線欠陥レーザ模式図（左）と作製したレーザのSEM写真（右）

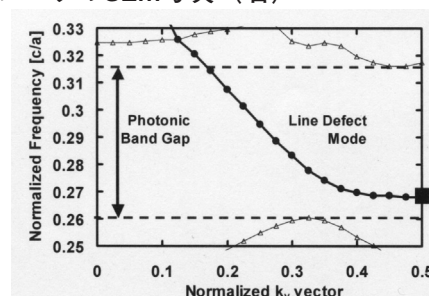


図2 二次元スラブフォトニック結晶のバンド構造図

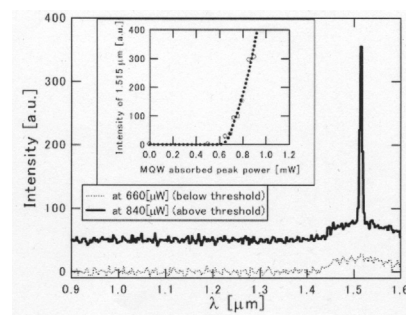


図3 二次元フォトニック結晶線欠陥レーザのスペクトルおよびL-L特性（挿入図）

宋 奉 植（野田教授）

「Hetero Photonic Crystals and Their Applications」（ヘテロフォトニック結晶とその応用）

平成16年9月24日授与

近年、光エレクトロニクスに革新をもたらす新しい光ナノ構造としてフォトニック結晶が大きな注目を集めている。フォトニック結晶とは、周期的な屈折率分布を形成した人工結晶であり、光子に対してその存在を禁止するフォトニックバンドギャップを有するという特長がある。このフォトニック結晶内に様々な欠陥を導入することにより、極微小領域に光共振器や光導波路を集積することが可能であり、従来にはない高機能かつ超小型光デバイスの実現が期待される。しかしながら、これまで、フォトニック結晶の研究は単一周期からなる結晶が主流であった。本研究はさらに一歩進んだ概念として、周期の異なるフォトニック結晶を組み合わせた「ヘテロフォトニック結晶」を提案するとともに、ヘテロフォトニック結晶における光子の振る舞いを解明し、それに基づいた新機能をもつ超小型デバイスに関する理論解析及び実験を行った。得られた主な成果は以下の通りである。

1. まず、ヘテロフォトニック結晶の基礎となる単一周期の結晶について理論および実験を行った。特に設計した通りの構造を精度良く実現することを目指して、半導体デバイスで広く用いられているシリコンのナノ微細加工技術について検討を行い、設計した構造通りで、かつ構造揺らぎが極めて小さいフォトニック結晶デバイスを作製する微細加工技術を確立した（図1参照）。

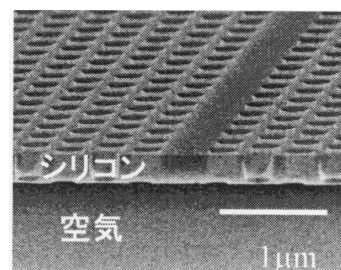


図1：作製したデバイスのSEM像

2. 続いて単一周期のフォトニック結晶の特性に基づいて、異なる周期をもつ結晶を組み合わせたヘテロフォトニック結晶を形成し、ヘテロ界面における光の振る舞い（光の透過・反射現象等）について理論解析を行うとともに、ナノ微細加工技術を用いて、実際にヘテロフォトニック結晶を作製し、ヘテロ界面における透過・反射特性等を明らかにした。

3. 以上の検討を踏まえて、ヘテロフォトニック結晶の具体的な応用例を3つ示し、ヘテロフォトニック結晶の応用性を示した。(a) 1.25ナノメートルという極めて小さな周期の差をもつ7つの結晶を多段接続したヘテロフォトニック結晶からなる超小型波長分合波デバイスを試作し、高い波長分解能・効率を一定に保ったままで5ナノメートルの波長間隔で多波長分合波動作を実証することに成功した（図2参照）。(b) ヘテロ界面において、特定波長の光のみが反射されるという特長を利用することで、点欠陥からの光取り出し効率を大幅に向上させることが可能なことを理論的に示すと同時に実験的に実証した。(c) 半導体ヘテロ構造との類似性に着目し、ダブルヘテロフォトニック結晶を用いた微小共振器を提案・検討するとともに、さらに発展した構造として、格子整合と多段ダブルヘテロ構造について検討を行い、共振器のモード体積をほぼ一定に保ちながら、Q値を大幅に増加できることを示した。

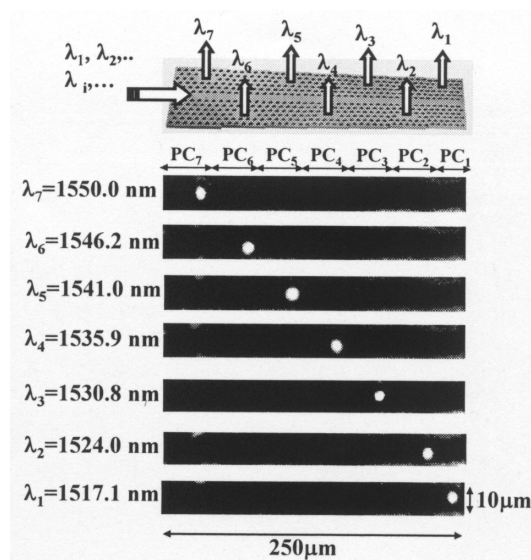


図2：ヘテロフォトニック結晶を用いたデバイスの一例

以上のように、本研究を通じてヘテロフォトニック結晶という新しい構造の特性を明らかにするとともに、その有用性を示し、今後さらなる発展が期待できる。

杉 山 敬 三（高橋教授）

「OSI 応用ソフトウェア実装方式とネットワーク管理に関する研究」

平成16年9月24日授与

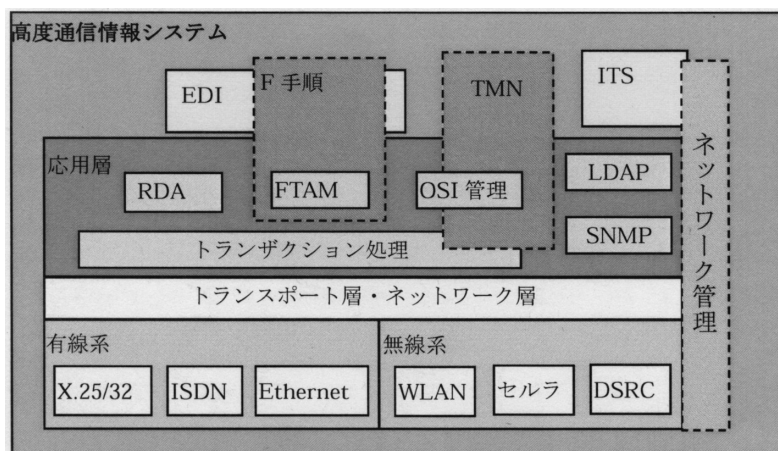
TCP/IPに代表される通信プロトコルの実装が広く普及し、通信処理と情報処理が融合することで、応用業務の高度化、多様化が進んでいる。本研究は、ISO/ITU-T で標準化されたOSI（開放型システム間相互接続）プロトコルの応用業務を対象に、高度通信情報システムを構築するために重要な応用ソフトウェアの効率的な実現方法と、高度通信情報システムを円滑に運

用するために重要な電気通信網のネットワーク管理手法に関する一連の研究成果をまとめたものである。

まず、異企業のコンピュータ間で受発注や決済等の商取引に関する情報を交換するような応用業務において、会話型の通信を実現するためのプロトコルとして利用頻度の高いトランザクション処理や、バッチ的に帳票データを交換するEDI（電子データ交換）を対象とし、OSIのTP（トランザクション処理）プロトコルやEDI用のファイル転送手順であるF手順、またEDIにおいて企業内のデータフォーマットと企業間の標準フォーマットを変換するトランスレータの実現方法を示した。ここでは、パソコンのような計算機資源に制約のある環境下で、FTAM（ファイル転送、アクセスと制御）やRDA（遠隔データベースアクセス）といった種々の応用や利用形態に対応可能な汎用性を実現する応用ソフトウェアの設計方法を明らかにし、実装したシステムの評価を通して実用的な性能が達成できることを示した。

次に、ネットワーク管理においては、通信キャリアのネットワークで使用される伝送装置などの網要素（NE）の管理手法としてITU-Tで規定されているTMN（電気通信管理網）に基づき、NE における管理情報の集合であるMIB（管理情報ベース）が、標準に従って正しく実装されているかを試験するための適合性試験方式を提案するとともに、同方式に従った試験ツールを実装し、試験作業が大幅に効率化されることを示した。また、TMNはOSI管理プロトコルを採用しているが、情報通信技術を用いて人と道路と車両とを情報でネットワークするITS（高度道路交通システム）では、路側機器等の監視・制御にインターネットの管理プロトコルであるSNMP（Simple Network Management Protocol）の使用が検討されており、これに対して提案した試験方式が適用可能であることを示した。さらには、ネットワーク管理の応用事例として、ITSの高度な応用を提供するのに必要な車両の位置などのアドレス情報を管理するためにLDAP（Lightweight Directory Access Protocol）とXML（eXtensible Markup Language）を組み合わせた方式を提案し、プロトタイプシステムの実装により有効性を示した。

以上、本研究は、EDIやTMN、ITSといった応用業務を実装面や運用面で支援するための通信情報システムを、効率的に開発可能とする体系的な手法を示したものである。



佐 藤 高 史（小野寺教授）

「Modeling and experimental studies of the electro-magnetic coupling on on-chip interconnections for accurate noise-aware delay calculation」

（雑音を考慮した高精度遅延計算のための LSI 内配線の電磁氣的結合に関するモデル化と実験的検証）

平成16年9月24日授与

微細加工技術の進展により、約 1cm 角の大規模集積回路（LSI）には、数億以上のトランジスタが集積されるようになってきている。トランジスタ間を接続する配線も同時に高密度化し、着目する配線と隣接する配線との距離は100nm 程度にまで近付いている。一方、LSIのクロック周波数が向上することにより、回路の遅延時間に対する制約はますます厳しくなっている。

配線間の電磁氣的な結合による雑音は、回路遅延を変化させる。これまでは配線間の距離が大きいため、またクロック周期が大きいため考慮が不要であった現象が、近年の高速 LSIでは回路動作に大きく影響を与え始めている。なかでも、容量性のクロストーク雑音とインダクタンスによる遅延変化の効率良い検証、および電源・グラウンド配線の最適化は、今後の LSI設計において欠く事の出来ない特に重要な要素技術となりつつある。

本論文では、雑音を考慮した高精度な回路遅延計算を実現するモデルと計算手法を提案する。計算機シミュレーションに加え、テストチップの試作・測定を行って提案するモデルの有効性を実験的に評価している。本論文中で報告している主な成果は以下の通りである。

1. LSIの配線間クロストーク雑音が信号の遅延時間に与える影響を明確化し、雑音波形と信号遅延の変動量を、雑音と信号の相対的なタイミングの関数としてモデル化した。このモデル式により、雑音を考慮した遅延計算を大規模な製品設計に適用できる高速性を実現している。
2. LSI内の配線インダクタンスが遅延変動に与える影響の考慮が必要であるか否かを、統計的に判定する手法を考案した。本手法では、配線が確定してインダクタンスが抽出可能な検証段階だけでなく、配線設計中にもインダクタンスが影響する範囲を適切に予測できるため、遅延変化の小さい設計が可能となる。
3. 最新の $0.13\mu\text{m}$ プロセスを含む 3 世代の製造プロセスでテストチップを試作し、上記モデルおよび計算手法の有効性を測定により実証している。テストチップ設計のために、汎用的な測定回路を新たに考案することで、高精度の遅延測定を実現した。こうしたノイズの影響を測定する回路は、今後の LSI 設計の検証技術の一つとして、実用的見地から特に重要である。

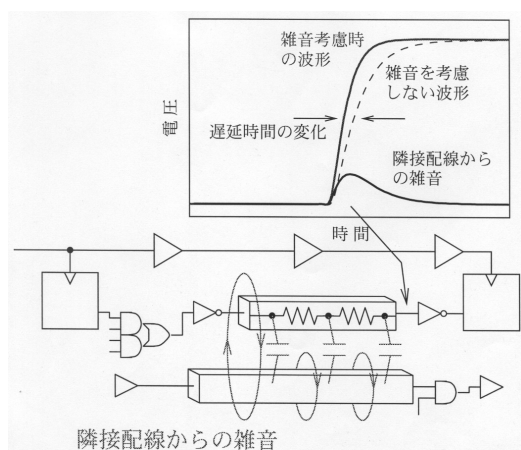


図 1. 隣接配線の影響

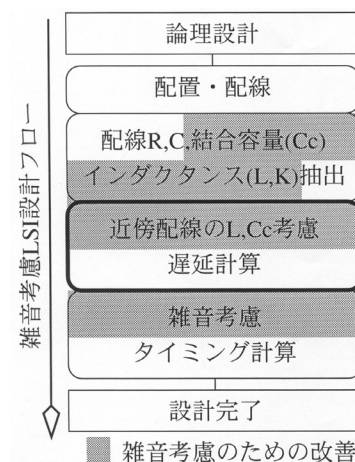


図 2. 雑音考慮設計フロー

設 楽 弘 之 (水内亨教授)

「Development of a 70 GHz ECRH system on the Heliotron J device」

(ヘリオトロンJ装置における70 GHz ECRH システムの開発)

平成 16 年 9 月 24 日授与

核融合炉を目指したプラズマ閉じ込め磁場配位であるトカマク方式、ヘリカル方式等において、電子サイクロトロン共鳴加熱 (Electron Cyclotron Resonance Heating, ECRH) はプラズマ加熱・電流駆動の手法として広く用いられている。本研究では、ヘリカル方式の一つであるヘリカル軸ヘリオトロン磁場閉じ込め装置、ヘリオトロンJにおいてプラズマの生成・加熱を行うため、さまざまな実験目的に要求される条件を満たすECRHシステムの開発、レイ トレーシング計算による加熱効率の評価、プラズマ実験結果との比較を行った。複雑な三次元形状を持つトーラス形状のプラズマに十分に集束させた高電力ミリ波を入射した場合、プラズマでの吸収を制御するため、入射方向の幅広い制御性、入射電磁波の偏波モード制御性、システムの高い安定性などがECRHシステムに要求される。これらは、電磁波の吸収位置、吸収効率の制御を行うために重要な物理的要求であり、実機での設置条件の厳しい制約下で要求される性能を十分に満たすことが必要である。

構築した70GHz ECRHシステムの概要を図1に示す。低電力、高電力試験により、要求される性能を満たすものであることを確認した。特に、図2のような入射システムの採用により、磁力線に対して垂直方向から平行方向近くまで、局所化したビームの入射方向を変化させることが可能となった。また、ビームの上下方向スキャン実験からヘリオトロンJ 装置においてプラズマ生成可能領域が幅広いことを示した。入射波の偏波モードを入射条件にあわせて詳細に設定することにより、プラズマを一回通過することにより吸収される電磁波の割合を制御することも可能となった。本ECRHシステムにより、種々の磁場配位条件におけるプラズマ生成、加熱が行え、最適な閉じ込め磁場配位を探索するヘリオトロンJ装置の性能を十分に調べる事が可能となっている。

電磁波の電力吸収効率を高めることはプラズマの制御に非常に重要であるため、レイトレーシング計算により電力吸収率および吸収位置の評価を行った。プラズマ加熱の磁場依存性は実験結果と良い一致を示しており、レイトレーシング計算が実験解析に利用できることを示した。得られた計算結果から、本ECRHシステムにより、種々の実験条件下において、高い一回通過電力吸収効率をもち、局所的な吸収、加熱が可能となっていること、また、種々のECRH実験に観測されたプラズマの特徴は、一回通過電力吸収により理解できるものであり、プラズマの性能制御が可能であることがわかった。

現在 (2004年12月現在)、スイスのローザンヌ連邦工科大学にて博士研究員として研究活動を行っており、学位論文の研究を通して得た知識はもとより、文面に現れない知識、経験が非常に役立っている。当地のやり方になるほどと納得することもあれば、行き詰まりかけたときに私の知っている手法により解決するといったこともあり、全てに亘り非常に有り難い、貴重な経験であったと感じている。

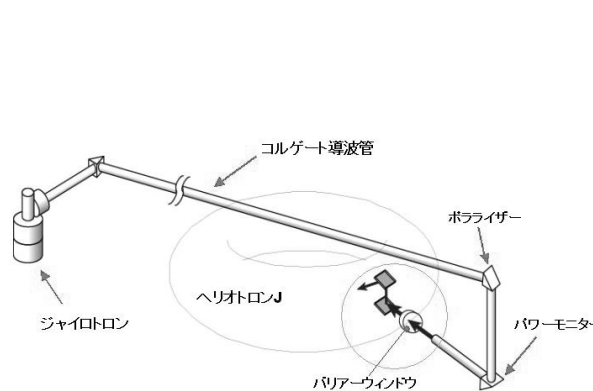


図1 70GHz ECHシステム概要

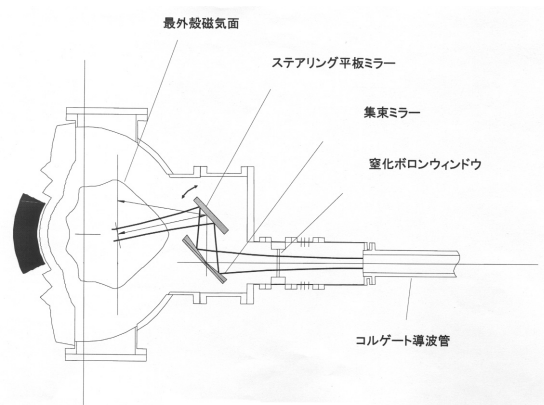


図2 70GHz ECH入射システム

【論文博士一覧】

藤沢 浩訓	「MOCVD法により作製した強誘電体 $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 薄膜及びナノ構造の物性に関する研究」	平成16年 1月23日
東島 智	「Study of Impurity Control and High Density Plasma Formation with High Confinement by Impurity Injection in JT-60 Upgrade」 (JT-60Uにおける不純物制御と不純物入射による高閉じ込め高密度プラズマ生成の研究)	平成16年 1月23日
内元 清貴	「Maximum Entropy Models for Japanese Text Analysis and Generation」 (日本語テキスト解析・生成のための最大エントロピーモデル)	平成16年 3月23日
関口 博之	「医用画像データの3次元領域抽出とその表示に関する研究」	平成16年 3月23日
長松 隆	「人工システムに人的要因への情報技術の適用に関する研究」	平成16年 3月23日
諫山 明彦	「JT-60Uにおける電子サイクロトロン放射測定による新古典テアリングモードの抑制に関する研究」	平成16年 3月23日
苗村 昌秀	「オブジェクト抽出技術とその応用に関する研究」	平成16年 9月24日